



SKRIPSI – ME141501

**DESAIN BLADE TURBIN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA  
ARUS LAUT DI BANYUWANGI BERBASIS CFD**

Ricardo Martin Lopulalan  
NRP 4212 100 032

**Dosen Pembimbing**

Ir. Sardono Sarwito, M.Sc

Dr. Eddy Setyo Koenhardono, ST., M.Sc

**JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2016**



**SKRIPSI – ME 141501**

**DESAIN BLADE TURBIN PEMBANGKIT LISTRIK  
TENAGA ARUS LAUT DI BANYUWANGI BERBASIS CFD**

Ricardo Martin Lopulalan  
NRP. 4212 100 032

Dosen Pembimbing :  
Ir. Sardono Sarwito, M.Sc  
Dr. Eddy Setyo Koenhardono, ST., M.Sc

JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016



## **FINAL PROJECT – ME 141501**

### ***BLADE DESIGN OF POWER PLANT OCEAN CURRENT IN BANYUWANGI BASED ON CFD***

Ricardo Martin Lopulalan  
NRP. 4212 100 032

Advisor :

Ir. Sardono Sarwito, M.Sc

Dr. Eddy Setyo Koenhardono, ST., M.Sc

DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING  
Faculty of Marine Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016

**LEMBAR PENGESAHAN  
DESAIN BLADE TURBIN PEMBANGKIT  
LISTRIK TENAGA ARUS LAUT DI  
BANYUWANGI BERBASIS CFD**

**SKRIPSI**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

Bidang Studi *Marine Electrical and Automation System* (MEAS)  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Ricardo Martin Lopulalan**

Nrp. 4212 100 032

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Ir. Sardono Sarwito, M.Sc
2. Dr. Eddy Setyo Koenhardono, S.T, M.Sc



SURABAYA

Juli, 2016

*“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”*

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**DESAIN BLADE TURBIN PEMBANGKIT**  
**LISTRIK TENAGA ARUS LAUT DI**  
**BANYUWANGI BERBASIS CFD**

**SKRIPSI**

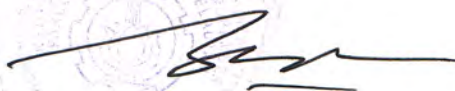
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

Bidang Studi *Marine Electrical and Automation System* (MEAS)  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Ricardo Martin Lopulalan**  
Nrp. 4212 100 032

Disetujui oleh Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan :



Dr. Eng M Badruz Zaman ST. MT  
NIP.19770802200801107

*“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”*

# **DESAIN BLADE TURBIN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ARUS LAUT DI BANYUWANGI BERBASIS CFD**

**Nama Mahasiswa : Ricardo Martin Lopulalan**  
**NRP : 4212 100 032**  
**Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan**  
**Dosen Pembimbing : Ir. Sardono Sarwito M.Sc**  
**Dr. Eddy Setyo Koenhardono, ST, M.Sc**

## **ABSTRAK**

Perancangan pembangkit listrik tenaga arus laut telah dilakukan di Negara-negara maju sebagai energy alternative yang dimanfaatkan sebagai sumber energy listrik. Indonesia mempunyai potensi sumber terbarukan berlimpah namun masih belum termanfaatkan secara maksimal. Potensi sumber energi terbarukan Indonesia salah satunya adalah pemanfaatan aliran pasang surut air laut (*ocean current*) sebagai sumber energi penghasil listrik.

Pada penulisan tugas akhir akan dikaji secara teknis mengenai perancangan pembangkit listrik tenaga arus laut untuk diaplikasikan di Banyuwangi. Kajian meliputi tipe turbin gorlov, Coefisien Lift, Gaya Hidrodinamik, besarnya torsi dan besarnya daya yang dihasilkan dengan memvariasikan ketinggian dari turbin 1,5 m, 2 m, dan 3 m.

Hasil yang diperoleh nantinya desain turbin yang menghasilkan daya terbesar yang diaplikasikan di Banyuwangi. Gaya hidrodinamik yang dihasilkan oleh turbin arus laut sebesar 125,96 N dan daya listrik terbesar dihasilkan oleh tipe blade dengan jumlah daun 4 dan ketinggian 3m sebesar 349 Watt.

**Kata kunci : Ocean current, Pembangkit Listrik, Turbin Gorlov.**



*“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”*

# **BLADES DESIGN OF POWER PLANT OCEAN CURRENT IN BANYUWANGI BASED ON CFD**

**Name : Ricardo Martin Lopulalan**  
**NRP : 4212 100 032**  
**Department : Marine Engineering**  
**Advisor : Ir. Sardono Sarwito M.Sc**  
**Dr. Eddy Setyo Koenhardono, ST, M.Sc**

## ***ABSTRACT***

*The design of marine current power plants has been done in developed countries as an alternative energy which is used as a source of electrical energy. Indonesia has the potential of renewable resources but still has not been utilized to the fullest. One of potential resources of renewable energy is the use the flow of the tide (ocean tidal current) as an energy source of electricity.*

*In this study assessed technically about the design of marine current power plant that can be applicated in Banyuwangi. In this study included the type of gorlov turbine, lift coefisien, hydrodynamic force, rate of torque and torsion, also the rate of power that were produced with variated the elevation from the turbine from 1,5 m, 2 m and 3 m.*

*The results obtained design turbines that generate the greatest power that is applied in banyuwangi. hydrodynamic force was produced 125,96 N from ocean current turbine and biggest power were produced by blade type that have 4 blades and the elevation was 3 m which was 349 watt.*

***Key word: , ocean current, power plant, turbine Gorlov***

*“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”*

## DAFTAR ISI

<b>Halaman Judul .....</b>	<b>i</b>
<b>Lembar Pengesahan.....</b>	<b>iii</b>
<b>Abstrak.....</b>	<b>vii</b>
<b>Kata Pengantar.....</b>	<b>ix</b>
<b>Daftar Isi .....</b>	<b>xiii</b>
<b>Daftar Gambar .....</b>	<b>xvii</b>
<b>Daftar Tabel.....</b>	<b>xix</b>
<b>Daftar Grafik .....</b>	<b>xxi</b>
<b>Daftar Lampiran .....</b>	<b>xxiii</b>
 <b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	 <b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penulisan Tugas Akhir .....	3
1.5 Manfaat Tugas Akhir .....	4
1.6 Tempat Penelitian.....	4
 <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	 <b>5</b>
2.1 Energi .....	5
2.1.1 Energi yang dapat diperbaharui.....	5
2.2.1 Energi yang tidak dapat diperbaharui .....	6
2.2 Energi Laut.....	6
2.3 Energi Arus Laut .....	7
2.4 Turbin Arus Gorlov .....	10
2.5 Kelebihan Turbin Arus Gorlov .....	13
2.6 NACA Airfoil.....	13
2.7 NACA 0018.....	15
2.8 Generator .....	16

2.9 Gaya Hidrodinamik .....	18
2.10 Perhitungan Torsi .....	19
2.11 Perhitungan Konversi Arus Laut.....	19
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>21</b>
3.1 Identifikasi dan perumusan masalah .....	21
3.2 Studi Literatur .....	21
3.3 Pengumpulan data .....	21
3.4 Pembuatan model turbin arus Gorlov.....	22
3.5 Simulasi.....	22
3.6 Analisa dan pembahasan .....	22
3.7 Validasi.....	23
3.8 Kesimpulan.....	23
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>25</b>
4.1 Pengumpulan Data .....	25
4.2 Data Spesifikasi Kecepatan Arus laut dan Spesifikasi Turbin Gorlov .....	25
4.2.1 Data Kecepatan Arus Laut di Banyuwangi.....	25
4.2.2 Spesifikasi Turbin Gorlov.....	26
4.3 Simulasi CFD pada Turbin Gorlov .....	27
4.3.1 Permodelan Geometri NACA 0018 .....	28
4.3.2 Permodelan 3 Dimensi dengan Software ANSYS ICEM CFD13 .....	29
4.4 Simulasi .....	30
4.4.1 Pre-Pocessor.....	30
➤ Boundary Condition .....	31
• Inlet.....	31
• Outlet .....	32
• Wall .....	32
4.4.2 Solver .....	32
4.4.3 Post-Pocessor .....	33
4.5 Analisa Grafik potensi Arus Laut di Banyuwangi.....	34

4.6 Analisa Coefisien Lift terhadap sudu serang.....	36
4.7 Analisa Hasil Simulasi .....	37
4.8 Perhitungan Torsi pada Turbin.....	38
4.9 Perhitungan daya .....	39
4.10 Validasi Simulasi .....	40
4.10.1 Validasi Gaya Hidrodinamik.....	40
4.10.2 Validasi Torsi.....	41
4.10.3 Validasi Daya .....	42
4.11 Prosentas Error .....	43
4.12 Daya Generator .....	44
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>47</b>
5.1 Kesimpulan.....	47
5.2 Saran.....	47
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	
<b>LAMPIRAN.....</b>	

“Halaman ini Sengaja dikosongkan”

## DAFTAR GAMBAR

### BAB I

Gambar 1.1	Status Bauran Energi Nasional tahun 2011 .....	2
------------	--	---

### BAB II

Gambar 2.1	Turbin sumbu horizontal.....	7
Gambar 2.2	<i>Turbin sumbu vertikal</i> .....	7
Gambar 2.3	<i>Ocilating Hydrofoil</i> .....	8
Gambar 2.4	Archimedes Screw .....	8
Gambar 2.5	<i>Layang-layang pasang Surut</i> .....	9
Gambar 2.6	Lintasan lengkung untuk aliran.....	10
Gambar 2.7	<i>Helical Angle</i> .....	11
Gambar 2.8	Turbin Gorlov .....	11
Gambar 2.9	NACA Airfoil Geometry .....	13
Gambar 2.10	Generator pada instalasi turbin arus laut.....	15
Gambar 2.11	Gaya pada turbin .....	17
Gambar 2.12	Torsi .....	18

### BAB III

Gambar 3.1	Diagram alir Metodologi.....	23
------------	------------------------------	----

### BAB IV

Gambar 4.1	Lokasi studi penempatan turbin Gorlov di pantai grajakan.....	28
Gambar 4.2	Pembuatan NACA 0018 Software ANSYS1330	
Gambar 4.3	Pebuatan model Blade 3 dan 4 .....	31
Gambar 4.4	Tahapan Simulasi CFD .....	31
Gambar 4.5	Meshing turbin Gorlov .....	33
Gambar 4.6	Penentuan Boundary Condition .....	33
Gambar 4.7	Proses Solver pada Software ASYS.....	33



Gambar 4.8 Fuction calculator force turbin .....35

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Efisiensi dan daerah operasi turbin .....	12
Tabel 2.2	Kelebihan NACA tipe 4 digit .....	14
Tabel 4.1	Proses tahapan simulasi.....	29

“Halaman ini Sengaja dikosongkan”

## DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1	Potensi arus laut di pantai Grajakan tahun 2015..	36
Grafik 4.2	Potensi arus laut di pantai Muncar tahun 2015 ....	36
Grafik 4.3	Coefisien Lift Terhadap sudu serang .....	37
Grafik 4.4	Gaya Hidrodinamik yang diperoleh dari simulasi	38
Grafik 4.5	Torsi pada turbin .....	39
Grafik 4.6	Daya yang dihasilkan turbin .....	40
Grafik 4.7	Gaya hidrodinamik berdasarkan perhitungan .....	41
Grafik 4.8	Torsi pada turbin .....	42
Grafik 4.9	Daya yang dihasilkan turbin .....	43
Grafik 4.10	Prosentase Error hasil simulasi .....	44

“Halaman ini Sengaja dikosongkan”

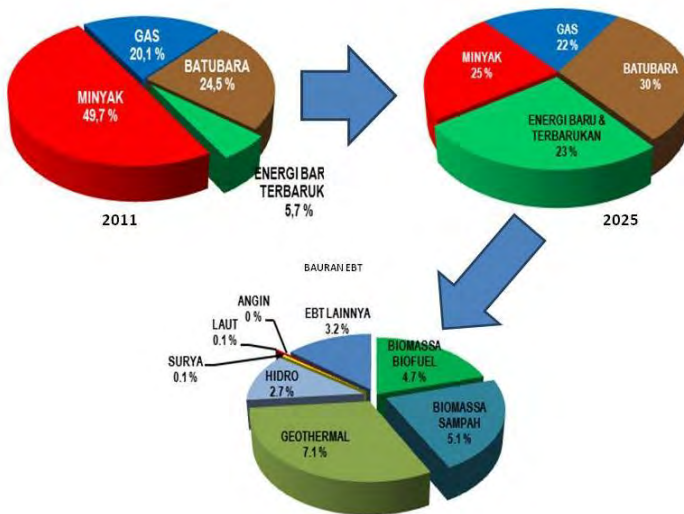
# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Energi terbarukan (renewable energy) merupakan sumber energi alternatif yang menjanjikan untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik masa depan. Posisi geografis Indonesia di antara dua samudra dan benua serta di daerah khatulistiwa, sehingga mempunyai potensi sumber terbarukan yang berlimpah. Salah satu pemanfaatan potensi sumber energi terbarukan Indonesia adalah pemanfaatan arus laut (ocean current) sebagai sumber energi penghasil listrik. Energi mekanis dari arus laut dapat digunakan untuk menggerakkan turbin. Salah satu jenis turbin yang dapat dipergunakan untuk menangkap arus laut adalah turbin gorlov yang merupakan jenis turbin vertikal.

Pemanfaatan energi dari arus laut dapat menjadi salah satu solusi terhadap permasalahan nasional yang terjadi saat ini berkaitan dengan belum tercapainya target proyeksi Bauran Energi Nasional sebagaimana Peraturan Presiden No. 5 tahun 2006 dan Blueprint Pengelolaan Energi Nasional (PEN) 2006 – 2025. Saat ini, penggunaan energi yang berasal dari sumber energi fosil masih sangat tinggi, padahal potensi sumber- sumber energi baru dan terbarukan (EBT), seperti energi laut dan panas bumi (geothermal), sudah diketahui. Undang-Undang No. 30/2007 tentang Energi menyatakan bahwa EBT harus mencapai 25,9% dalam Bauran Energi Nasional pada tahun 2025 seperti terlihat pada Gambar 1.1. Target tersebut jauh lebih tinggi dibandingkan dalam Peraturan Presiden maupun Blueprint Pengelolaan Energi Nasional sehingga upaya penemuan dan pemanfaatan EBT harus ditingkatkan. Keterbatasan sumber daya energi akan menjadi kendala yang dapat menghambat laju pertumbuhan ekonomi di kemudian hari.



Gambar 1.1 Status Bauran Energi Nasional tahun 2011 dan harapan tahun 2025 menurut Rencana Induk Kebijakan Energi Nasional 2014.

Peningkatan kebutuhan energi sejalan dengan pertumbuhan penduduk yang pesat serta adanya keterbatasan sumber daya energi fosil yang tersedia mengakibatkan perlunya dikembangkan teknologi pemanfaatan sumber energi terbarukan yang salah satunya adalah energi arus laut. Untuk keperluan tersebut maka diperlukan instalasi turbin arus laut sebagai piranti untuk mengkonversi energi arus menjadi listrik. Akan tetapi pemanfaatan energi arus laut sebagai pembangkit listrik atau Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut (PLTAL) di Indonesia menghadapi beberapa kendala, terutama disebabkan oleh kapasitas nasional terhadap penguasaan teknologi energi laut masih terbatas.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Permasalahan yang dimuat dalam penelitian tugas akhir ini sebagai berikut :

Turbin arus laut merupakan alat yang dapat menghasilkan energi listrik yang cukup besar. Akan tetapi turbin arus laut yang tersedia di pasaran sejauh ini disesuaikan dengan kondisi asal negara pembuatnya, dimana kecepatan karakteristik arus laut fluktuasi pasang surutnya sangat berbeda dengan karakteristik arus laut dan pasang surut di Indonesia. Oleh karena itu, guna pemanfaatan energi arus laut di Indonesia yang lebih maksimal perlu dilakukan pengembangan perancangan prototipe turbin pembangkit yang cocok dengan karakteristik arus di Indonesia.

## **1.3 Batasan Masalah**

Agar permasalahan yang dibahas dalam Tugas Akhir ini tidak meluas, maka diberikan batasan-batasan masalah sebagai berikut:

1. Jenis turbin yang akan dibahas adalah jenis turbin gorlov
2. Blade yang divariasikan berjumlah 3-4 buah menggunakan NACA 0018
3. Dimensi turbin berdiameter 1 m dan memiliki variasi tinggi 1,5 m, 2 m, dan 3 m

## **1.4 Tujuan Penulisan Tugas Akhir**

Penulisan tugas akhir ini bertujuan untuk :

1. Memanfaatkan energi arus laut di banyuwangi
2. Mengetahui desain blade turbin yang menghasilkan daya terbesar



## **1.5 Manfaat Tugas Akhir**

Adapun manfaat dari penulisan tugas akhir ini secara umum adalah memberikan sumbang saran untuk memanfaatkan potensi sumber energi yang berasal dari arus laut yang tersebar di wilayah perairan Indonesia yang belum termanfaatkan secara optimal. Sedangkan manfaat khusus dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Sebagai pertimbangan dalam perencanaan pada pembangkit listrik tenaga arus laut di Banyuwangi

## **1.6 Tempat Penelitian**

Tempat yang direncanakan untuk mendapatkan informasi dan data-data guna mendukung tugas akhir ini adalah Laboratorium MEAS dan MMD, Teknik Sistem Perkapalan, FTK – ITS.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Energi**

Dalam Hukum Termodinamika pertama, energi itu bersifat kekal. Energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan, tetapi dapat dikonversi atau diubah dari bentuk energi yang satu ke bentuk energi yang lain. Salah satu contoh perubahan bentuk energy adalah dinamo sepeda. Dinamo pada sepeda merubah energi gerak (mekanik) diubah menjadi energy listrik

##### **2.1.1 Energi yang dapat diperbaharui**

Energi yang dapat diperbaharui adalah energi yang berasal dari proses alam yang berkelanjutan. Istilah dari energi tersebut adalah energi berkelanjutan. Sistem penyediaan energi listrik yang dapat memenuhi kriteria sebagai berikut :

- a. dapat mengurangi ketergantungan terhadap pemakaian energi fosil, khususnya minyak bumi
- b. dapat menyediakan energilistrik dalam skala lokal regional
- c. mampu memanfaatkan potensi sumber daya energi setempat, serta
- d. cinta lingkungan, dalam artian proses produksi dan pembuangan hasil produksinya tidak merusak lingkungan hidup disekitarnya.

sistem konversi energi yang memanfaatkan sumber daya energi terbarukan, seperti: matahari, angin, air, biomas dan lain sebagainya (Djojonegoro,1992)

### **2.1.2 Energi yang tidak dapat diperbaharui**

Energi yang tidak dapat diperbaharui adalah energi yang berasal dari proses alam yang tidak berkelanjutan. Artinya natar lain energi ini tidak dapat diperbaharui selamalamanya, selama masih ada sumber energi ini, maka energi tersebut dapat digunakan akan tetapi ketika sudah habis maka tidak bisa diperbaharui lagi. Contoh dari Energi tidak dapat diperbaharui adalah energi dari bahan bakar fosil (minyak) dan lain sebagainya.

## **2.2 Energi Laut**

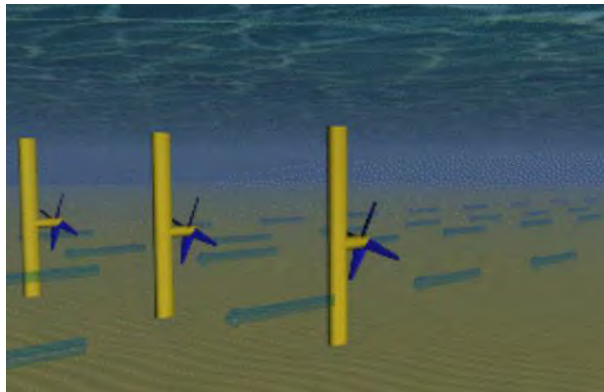
Energi laut adalah salah satu sumber energi terbarukan. Energi ini selanjutnya dibagi menjadi 4 kategori antara lain : Energi gelombang, Energi Pasang Surut, Energi Arus Laut, dan Energi Panas Laut. Energi laut merupakan energi yang dihasilkan dari samudera dan laut, dan tentu saja merupakan sumber energi hijau terbarukan karena mengkonversi gaya mekanik, gaya potensial dan perbedaan temperature air laut menjadi energi listrik. (Dony Achirudin,2011)

- Energi Gelombang Laut: berasal dari energi kinetik angin yang menyebabkan terjadinya gelombang lautan.
- Energi Pasang Surut: berasal dari pasang surut yang disebabkan oleh gaya gravitasi dari matahari dan bulan.
- Energi Arus Laut: energi yang.
- Konversi energi termal lautan (OTEC): berasal dari perbedaan suhu antara permukaan dan dasar lautan dengan selisih temperature minimal 20°C.

## 2.3 Energi Arus Laut

Arus laut adalah gerakan masa air secara teratur dari suatu tempat ketempat lain. Sebagiaian besar arus laut bergerak dengan arah horinzontal dan hanya sebagian kecil bergerak dengan arah vertical. Gerakan masa air laut secara vertical disebut upwelling. (Mahammad, hamid. 2005). Berdasarkan Device penangkap arus laut dibagi menjadi 5 jenis : Turbin Sumbu Horizontal, Turbin Sumbu Vertikal, Ocilating hydrofoil, Achimedes Screw, Layang-layang pasang surut.

- Turbin Sumbu Horizontal : Turbin sumbu horizontal terlihat pada gambar 2.1 mengekstrak energi dari air yang bergerak. Aliran pasang surut menyebabkan rotor berputar di sekitar sumbu horisontal dan menghasilkan tenaga.

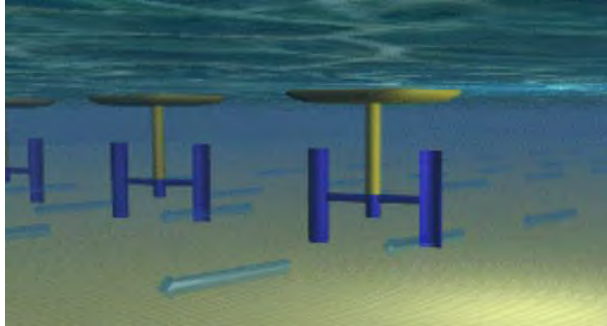


Gambar 2.1 Turbin sumbu horizontal

Sumber : <http://www.emec.org.uk/marine-energy/tidal-devices/>

- Turbin Sumbu Vertikal : Turbin sumbu vertikal

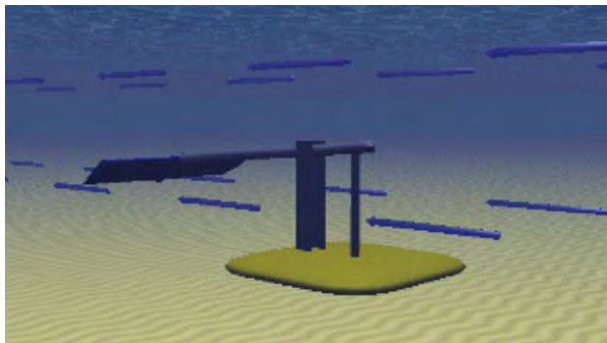
terlihat seperti gambar 2.2 mengekstrak energi dari arus laut, namun turbin dipasang pada sumbu vertikal. Aliran pasang surut menyebabkan rotor berputar di sekitar sumbu vertikal dan menghasilkan tenaga.



Gambar 2.2 Turbin sumbu vertikal

Sumber : <http://www.emec.org.uk/marine-energy/tidal-devices/>

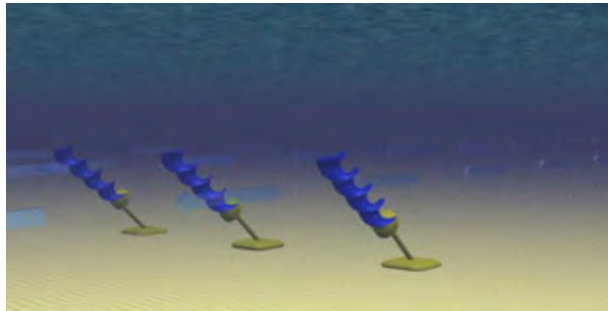
- *Oscilating hydrofoil* : Sebuah hydrofoil terlihat pada gambar 2.3 terpasang pada lengan berosilasi. Arus pasang surut mengalir pada kedua sisi hasil sayap menghasilkan gaya angkat. Gerakan ini kemudian mendorong cairan dalam sistem hidrolik yang akan dikonversi menjadi listrik.



Gambar 2.3 *Oscilating hydrofoil*

Sumber : <http://www.emec.org.uk/marine-energy/tidal-devices/>

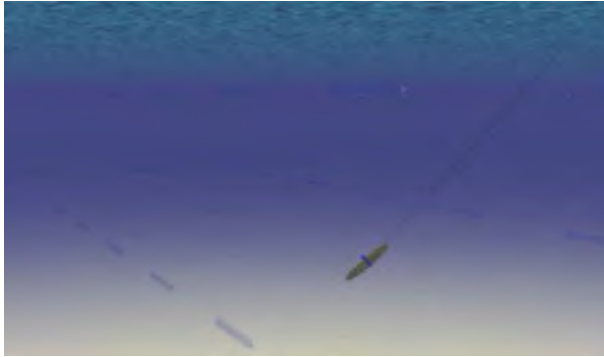
- *Archimedes Screw* : The Archimedes Screw seperti terlihat pada gambar 2.4 merupakan pembuka botol berbentuk perangkat heliks (permukaan heliks sekitar poros silinder pusat). Perangkat tersebut menarik daya dari aliran pasang surut air bergerak naik / melalui spiral memutar turbin.



Gambar 2.4 *Archimedes Screw*

Sumber : <http://www.emec.org.uk/marine-energy/tidal-devices/>

- Layang-layang pasang surut : Sebuah layang-layang pasang surut seperti terlihat pada gambar 2.5 ditambatkan ke dasar laut dan membawa turbin bawah sayap. Layang-layang 'terbang' di arus pasang surut, menukik membentuk angka delapan untuk meningkatkan kecepatan air yang mengalir melalui turbin.



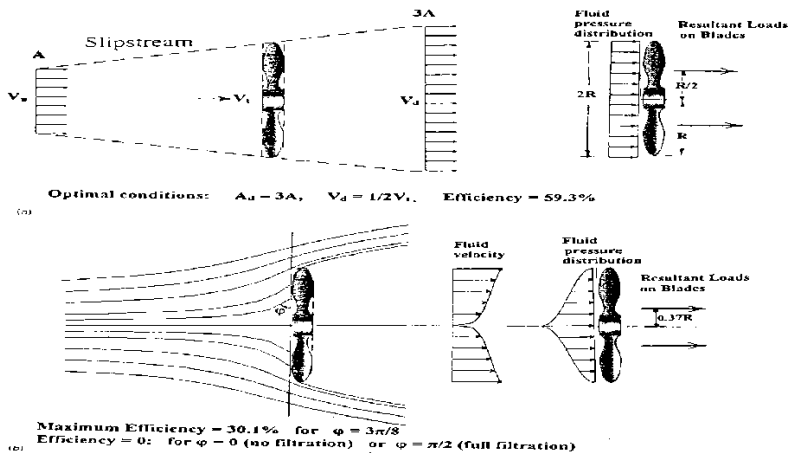
Gambar 2.5 Layang-layang pasang surut

Sumber : <http://www.emec.org.uk/marine-energy/tidal-devices/>

## 2.4 Turbin Arus Gorlov

Turbin Gorlov Helikal adalah jenis turbin yang baru dikembangkan pada tahun 1995, mengubah energi kinetik yang dihasilkan oleh arus aliran menjadi energi mekanis/gerak putar, di temukan oleh Profesor Gorlov dari Northeastern University, jenis turbin ini diperuntukan untuk energi arus sungai (river energy), energi arus laut (marine energy) dan energi arus pasang-surut (tidal energy) dan salah satunya telah di gunakan sebagai pembangkit listrik memanfaatkan air pasang surut di pedesaan Amazon-Brasil.

Efisiensi turbin didefinisikan sebagai rasio dari daya turbin dengan kekuatan aliran seragam dibatasi melalui daerah turbin. Dengan mendasarkan perhitungannya pada perubahan tingkat momentum dan hubungan Bernoulli untuk aliran fluida melalui turbin, Betz diperoleh batas efisiensi setinggi 59,3 persen seperti terlihat pada gambar 2.6.

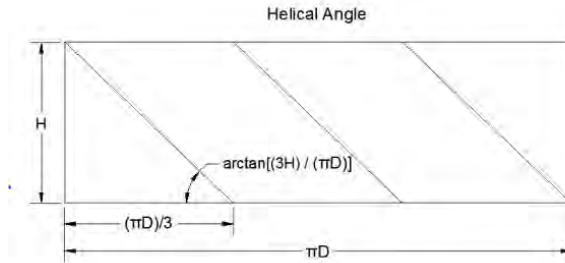


Gambar 2.6 Lintasan lengkung untuk aliran, diperoleh daya turbin dan efisiensi batas lebih benar

Jelas, untuk turbin arus bebas, masalah utama adalah bahwa setiap upaya untuk menggunakan arus yang melewati turbin lebih efektif akan mengakibatkan peningkatan merampingkan aliran dan akhirnya dapat menurunkan efisiensi bersih.

Dalam Pembuatan model turbin arus laut gorlov untuk sudut helix seperti terlihat pada gambar 2.7 atau sudut pada daun turbin dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor jumlah daun turbin, ketinggian turbin dan diameter dari turbin (Dr Michael Hincley )





Gambar 2.7 Helical angle

Sudut ini dapat di hitung dengan menggunakan persamaaan sebagai berikut :

$$\varphi = \arctan\left\{\frac{B \cdot h}{\pi \cdot D}\right\} \dots \dots \dots (4.1)$$

dimana :      B = Jumlah daun blade;  
                   h = Ketinggina Turbin (m);  
                   D = Diameter (m).



Gambar 2.8 Turbin Gorlov

[http://www.mdpi.com/jmse/jmse-02-00506/article\\_deploy/html/images/jmse-02-00506-g007-1024.png](http://www.mdpi.com/jmse/jmse-02-00506/article_deploy/html/images/jmse-02-00506-g007-1024.png)

## 2.5 Kelebihan Turbin Arus Gorlov

Perbandingan efisiensi dan daerah operasi turbin Dapat dilihat pada tabel 2.1 :

Tabel 2.1 Efisiensi dan daerah operasi turbin

Jenis Turbin	Efisiensi	Daerah operasi arus
Gaman	15% - 18%	$>0,5\text{m/s}$
Tyson	16%	$>0,5\text{m/s}$
Savonius	19%	$>2\text{m/s}$
Seaflow	20%	$>2\text{m/s}$
Darrieus	23%	$>2\text{m/s}$
Gorlov	35%	$>0,6\text{m/s}$
Verdant	43%	$>2\text{m/s}$

Sumber : Umi hanifah, dkk 2011

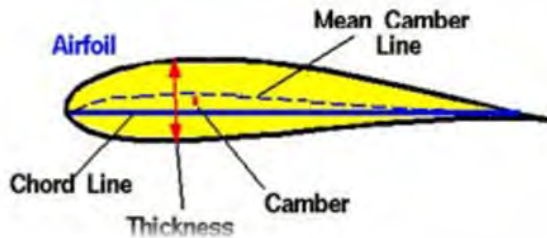
Beberapa kelebihan turbin arus gorlov antara lain :

- Dapat beroperasi di laut Air pasang surut dan arus sungai
- Dapat berputar pada kecepatan air  $0,6\text{ m/s}$ ,
- Berputar tanpa fluktuasi, Berputar pada satu arah saja

(Sumber : Gorlov 2001)

## 2.6 NACA Airfoil ( Tipe Blade )

NACA airfoil adalah salah satu bentuk bodi aerodinamika sederhana yang berguna untuk dapat memberikan gaya angkat tertentu terhadap suatu bodi lainnya dan dengan bantuan penyelesaian matematis sangat memungkinkan untuk memprediksi berapa besarnya gaya angkat yang dihasilkan oleh suatu bodi airfoil. Geometri airfoil memiliki pengaruh besar terhadap karakteristik aerodinamika dengan parameter penting berupa CL (coefisien Lift), dan kemudian akan terkait dengan lift.



Gambar 2.9 NACA Airfoil Geometry

Sumber: *wright.nasa.gov*

Agar proses penggambaran Naca lebih teliti maka harus dihitung terlebih dahulu nilai panjang chord yang diperoleh dengan rumusan berikut :

$$c = \frac{2\sigma\pi r}{B} (1 - \cos \theta) \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :      B = Jumlah Blade  
                    $\sigma$  = Solidity (0,5)

Pada naca 0018 Digit pertama menentukan camber maksimum (m) dalam persentase dari chord (panjang airfoil), kedua menunjukkan posisi camber maksimum (p) dalam sepersepuluh chord, dan dua angka terakhir memberikan ketebalan maksimum (t) dari airfoil di persentase chord. Memanfaatkan m, p, dan nilai-nilai t ini, kita dapat menghitung koordinat untuk seluruh airfoil menggunakan hubungan berikut:

- a. nilai Pilih dari x dari 0 sampai maksimum chord c.
- b. Hitung mean garis camber koordinat dengan mencolokkan nilai-nilai m dan p ke dalam persamaan berikut untuk masing-masing x koordinat.

$$y_c = \frac{m}{p^2} (2px - x^2) \quad \text{from } x = 0 \text{ to } x = p$$

$$y_c = \frac{m}{(1-p)^2} [(1-2p) + 2px - x^2] \quad \text{from } x = p \text{ to } x = c$$

di mana :

x = koordinat sepanjang airfoil, dari 0 sampai c (yang merupakan singkatan dari chord, atau panjang)

y = koordinat di atas dan di bawah garis memanjang sepanjang airfoil, ini adalah baik y<sub>t</sub> untuk koordinat ketebalan atau y<sub>c</sub> untuk koordinat camber

t = ketebalan airfoil maksimal dalam sepersepuluh chord (yaitu sebuah airfoil tebal 15% akan 0,15)

m = camber maksimum sepersepuluh chord

p = posisi camber maksimum sepanjang chord dalam sepersepuluh chord

c. Hitung distribusi ketebalan di atas (+) dan bawah (-) garis rata-rata dengan memasukkan nilai t dalam persamaan berikut untuk masing-masing x koordinat.

$$\pm y_t = \frac{t}{0.2} (0.2969\sqrt{x} - 0.1260x - 0.3516x^2 + 0.2843x^3 - 0.1015x^4)$$

d. Tentukan koordinat akhir untuk permukaan atas airfoil (X<sub>u</sub>, Y<sub>u</sub>) dan permukaan bawah (x<sub>L</sub>, Y<sub>L</sub>) menggunakan hubungan berikut.

## 2.7 NACA 0018

NACA 0018 merupakan tipe NACA 4 digit. NACA 0018 airfoil simetris, angka 00 menunjukkan bahwa ia tidak memiliki camber. 18 menunjukkan bahwa airfoil yang memiliki ketebalan 18% untuk chord rasio panjang.

NACA tipe 4 digit memiliki kelebihan dibandingkan dengan NACA dengan tipe yang lain. Adapaun kelebihan

dari NACA tipe 4 digit dapat dilihat pada Tabel 2.2 NACA tipe 4 digit.

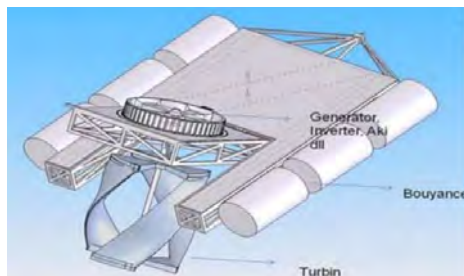
Tabel 2.2 Kelebihan NACA tipe 4 digit

NACA	Kelebihan
NACA 4 digit	karakteristik stall yang baik
	Kekasaran memiliki pengaruh yang kecil
	Tekanan pada titik pusat rentang kecepatan tinggi

(Sumber : the NACA Airfoil Series)

## 2.8 Generator

Generator listrik adalah alat yang mengubah sumber energi mekanik menjadi energy listrik, biasanya dengan menggunakan induksi elektromagnetik. Generator terdiri dari dua komponen utama, yaitu rotor (bagian yang bergerak) dan Stator (bagian yang diam). Rotor berhubungan dengan poros generator yang berputar di pusat stator. Poros generator berputar karena digerakkan oleh turbin arus laut sehingga dapat menghasilkan listrik. Generator pada instalasi turbin arus laut dapat dilihat pada gambar 2.10. Generator dibagi menjadi 2 jenis, yakni generator arus searah (DC) dan generator arus bolak-balik (AC).



Gambar 2.10 Generator pada instalasi turbin arus laut

<https://bemamikintelcom.files.wordpress.com/2010/07/turbin-komplit.jpg>

Generator DC dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan dari rangkaian belitan magnet atau penguat eksitasinya terhadap jangkar (anker), jenis generator DC yaitu: Generator penguat terpisah, Generator shunt dan Generator kompon. Rotor dari generator DC akan menghasilkan tegangan induksi bolak-balik. Sebuah komutator berfungsi sebagai penyearah tegangan AC. Besarnya tegangan yang dihasilkan oleh sebuah generator DC, sebanding dengan banyaknya putaran dan besarnya arus eksitasi (arus penguat medan). (<https://crizkydwi.wordpress.com/2014/11/05/motor-dc-dan-generator-dc/>)

Generator arus bolak-balik sering disebut sebagai generator sinkron atau alternator. Generator AC bekerja berdasarkan atas prinsip dasar induksi elektromagnetik. Tegangan bolak-balik akan dibangkitkan oleh putaran medan magnetik dalam kumparan jangkar yang diam. Dalam hal ini kumparan medan terletak pada bagian yang sama dengan rotor dari generator. Nilai dari tegangan yang dibangkitkan bergantung pada :

1. Jumlah dari lilitan dalam kumparan.
2. Kuat medan magnetik, makin kuat medan makin besar tegangan yang diinduksikan.
3. Kecepatan putar dari generator itu sendiri.

Jika frekuensi dari generator sebesar 60 Hz maka rotor harus berputar 3600 Rpm atau  $n/60$  (rps). Untuk rotor yang memiliki lebih dari 1 pasang kutub (K), maka masing-masing dari rotor menginduksi  $\frac{1}{2} N$  siklus tegangan dalam lilitan stator. Sehingga untuk mencari frekuensi dari tegangan induksi sebagai fungsi dari kecepatan rotor dapat diformulasikan dengan :

$$f = K/2 \times n/60 \dots\dots\dots(2.3)$$

## 2.9 Gaya Hidrodinamik

Gaya hidrodinamik terjadi karena aliran yang masuk ke blade turbin menghasilkan torsi yang mendorong blade sehingga turbin dapat berputar. Gaya hidrodinamik dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain sifat fluida, kecepatan fluida, dan luas dari dimensi blade turbin. Untuk merubah energy gerak dari turbin menjadi energi listrik, maka pada poros pada turbin dihubungkan dengan generator. Rumus Umum yang digunakan untuk mencari Gaya hidrodinamik adalah sebagai berikut :

$$F = 0.5 \times \rho \times v^2 \times c \times h \times Cl \dots \dots \dots (2.3)$$

dimana :  $F$  = Gaya (N);

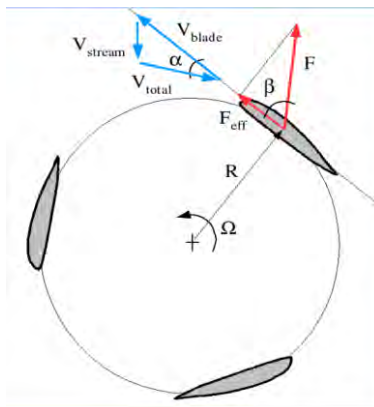
$\rho$  = rapat massa air ( $\text{kg/m}^3$ );

$v$  = kecepatan arus (m/s).

$c$  = Lebar Chord (m);

$d$  = tinggi blade (m);

$Cl$  = Coefisien Lift



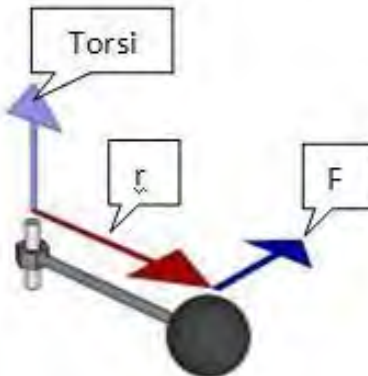
Gambar 2.11 Gaya pada turbin  
Sumber : the Italian ship model Basin

## 2.10 Perhitungan Torsi

Torsi adalah kemampuan puntir yang diberikan pada suatu benda, sehingga menyebabkan benda tersebut berputar. Torsi dapat terlihat pada gambar 2.12 di rumuskan sebagai berikut :

$$T = F \times r \dots\dots\dots(2.4)$$

dimana :       $T$  = Torsi (Nm);  
                   $F$  = rapat massa air (N);  
                   $r$  = Panjang Lengan (m).



Gambar 2.12 Torsi

<https://trainingrobot.wordpress.com/2014/07/09/pengertian-torsi-torque/>

## 2.11 Perhitungan Konfersi Arus Laut

Pengembangan teknologi ekstraksi energi arus laut lazimnya dilakukan dengan mengadopsi prinsip teknologi energi angin yang telah lebih dulu berkembang, yaitu dengan mengubah energi kinetik arus laut menjadi energi rotasi dan energi listrik. Daya yang dihasilkan oleh turbin



arus laut jauh lebih besar dari pada daya yang dihasilkan oleh turbin angin. Perhitungan daya dapat dicari dengan formula sebagai berikut :

$$(P) = T \times \text{RPM} \dots \dots \dots (2.5)$$

$$\text{RPM} = \frac{\Omega \times 60}{2\pi} \dots \dots \dots (2.6)$$

$$\Omega = \omega / R \dots \dots \dots (2.7)$$

dimana :    P = daya (Watt);  
               T = Torsi Poros Rotor;  
                $\omega$  = Kecepatan Anguler Turbin; dan  
               R = Jari jari turbin.

Sumber <http://www.esdm.go.id/berita/artikel/56-artikel/4072-road-map-penelitian-dan-pengembangan-energi-arus-laut.html>

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

Pada metode pengerjaan tugas akhir ini diperlukan untuk membuat alur penyelesaian terhadap ruang lingkup yang akan diteliti. Untuk metode yang digunakan dalam menyelesaikan penelitian mencakup semua langkah-langkah dalam menyelesaikan penelitian tentang desain blade turbin pembangkit listrik tenaga arus laut di banyuwangi berbasis CFD. Secara garis besar proses penelitian diterapkan pada sub bab berikut :

#### **3.1 Identifikasi dan perumusan masalah**

Pada proses ini akan dilakukan suatu identifikasi dan perumusan masalah tentang analisa besarnya gaya hidrodinamik, torsi serta daya yang dihasilkan oleh turbin yang divariasikan ketinggiannya, jumlah blade dan sudut serang.

#### **3.2 Studi Literatur**

Pada tahapan ini dilakukan pembelajaran terhadap teori-teori yang mendukung penelitian dan akan dibahas dalam penulisan tugas akhir. Sumber yang digunakan sebagai acuan dapat berasal dari buku, jurnal, paper dan Internet yang terkait dengan penelitian.

#### **3.3 Pengumpulan data**

Pengumpulan data dengan mengumpulkan data-data yang akan digunakan sebagai input yang diperlukan dalam pemodelan ini. Data bisa diperoleh dari data masa lalu yang berhubungan dengan variable pemodelan atau dengan

melakukan observasi secara langsung. Data yang diperlukan antara lain :

- Data Kecepatan arus laut di perairan Banyuwangi yakni pada pantai Grajakan dan pantai Muncar
- Data spesifikasi turbin arus gorlov

### **3.4 Pembuatan Model Turbin Arus Gorlov**

Tahapan ini dilakukan dengan melakukan identifikasi pada semua variable yang diperkirakan berkaitan dengan Model. Identifikasi variable dilakukan untuk mendapatkan variable serta parameter yang akan digunakan dalam melakukan pemodelan. Dalam pembuatan model akan dibuat model NACA turbin yaitu NACA 0018 4 digit. Setelah itu baru dilakukan permodelan 3 dimensi dari Turbin.

### **3.5 Simulasi**

Tahapan Simulasi dilakukan untuk mengetahui kondisi turbin yang dibuat sebagai acuan kondisi pada kejadian sebnarnya. Simulasi dilakukan dengan menggunakan software ANSYS CFX

### **3.6 Analisa dan Pembahasan**

Model yang sudah disimulasi dapat merepresentasikan kondisi nyata. Model dibuat berdasarkan kemungkinan kejadian yang akan terjadi ataupun ekspektasi kemungkinan terjadi eror pada model yang telah dibuat. Tujuan analisa ini adalah untuk menguji atau mengantisipasi berbagai kemungkinan kejadian yang dapat terjadi.

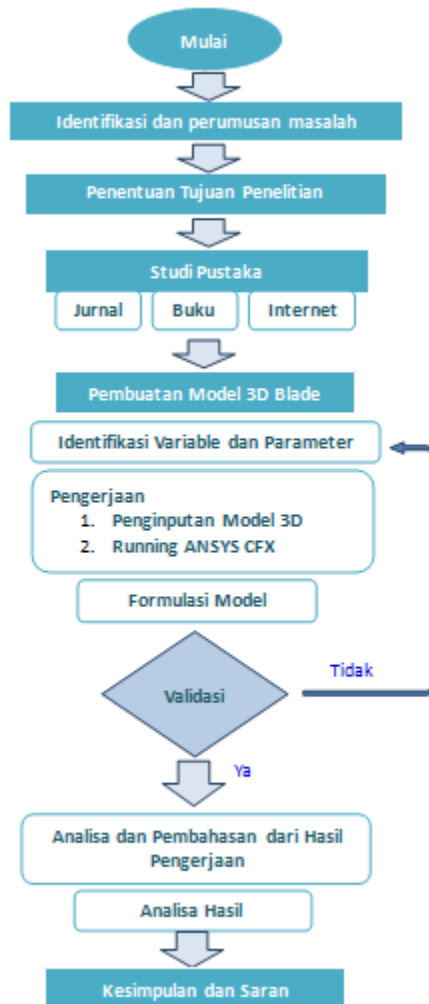
### **3.7 Validasi**

Setelah dilakukan analisa dan pembahasan maka hasil dari simulasi turbin dan perhitungan teoritis . Maka akan diketahui besar dari eror yang terjadi

### **3.8 Kesimpulan dan Saran**

Dengan dilakukan analisa terhadap hasil simulasi dari model, maka dapat diambil kesimpulan tentang desain blade yang maksimum yang dapat memberikan daya listrik terbesar dan dapat diterapkan di Indonesia terkhusus di Banyuwangi

### 3.2 Diagram Alir



Gambar Diagram Alir Metodologi

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1. Pengumpulan Data**

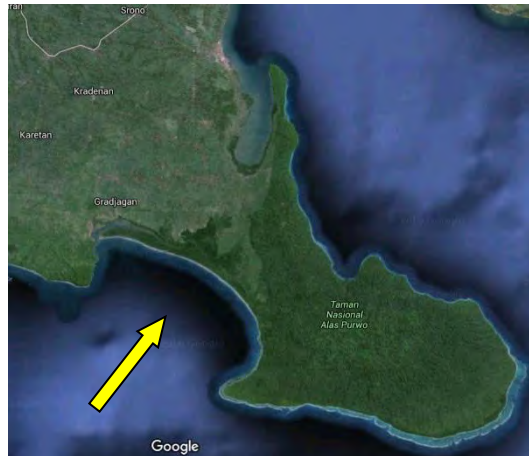
Dalam pengerjaan skripsi ini membutuhkan data yang nantinya akan dibutuhkan untuk proses pembuatan desain turbin dan simulasi turbin. Adapun data-data yang dibutuhkan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Data Kecepatan arus laut di banyuwangi
2. Data Spesifikasi turbin gorlov

#### **4.2. Data Spesifikasi Kecepatan Arus Laut dan Spesifikasi Turbin Gorlov**

1. Data kecepatan Arus Laut Di Banyuwangi

Data spesifikasi arus laut di banyuwangi didapatkan 2 tempat yakni di pantai Muncar dan di pantai Grajakan. Masing masing memiliki kecepatan arus yang berbeda. Dalam pengerjaan Tugas akhir ini yang dipilih oleh penulis adalah data arus laut di Grajakan. Hal ini dikarenakan data arus laut di Grajakan lebih besar daripada di pantai Muncar. Data kecepatan arus laut diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG Perak II Surabaya). Lokasi penempatan turbin dapat dilihat pada gambar 4.1 Lokasi studi penempatan turbin gorlov di pantai Grajakan.



Gambar 4.1. Lokasi studi penempatan turbin Gorlov di pantai Gradjaan.

## 2. Spesifikasi Turbin Gorlov

Adapun Spesifikasi dari turbin Gorlov yang dirancang sebagai berikut :

### A. Tipe NACA Series 4 Digit 0018

1. Jumlah Blade = 3 Buah
2. Tinggi turbin = 1.5 meter
3. Diameter Turbin = 1 meter
4. Panjang Chord Blade = 0.5 meter

### B. Tipe NACA Series 4 Digit 0018

1. Jumlah Blade = 4 Buah
2. Tinggi turbin = 1.5 meter
3. Diameter Turbin = 1 meter
4. Panjang Chord Blade = 0.392 meter

- C. Tipe NACA Series 4 Digit 0018
  - 1. Jumlah Blade = 3 Buah
  - 2. Tinggi turbin = 2 meter
  - 3. Diameter Turbin = 1 meter
  - 4. Panjang Chord Blade = 0.5 meter
  
- D. Tipe NACA Series 4 Digit 0018
  - 1. Jumlah Blade = 4 Buah
  - 2. Tinggi turbin = 2 meter
  - 3. Diameter Turbin = 1 meter
  - 4. Panjang Chord Blade = 0.392 meter
  
- E. Tipe NACA Series 4 Digit 0018
  - 1. Jumlah Blade = 3 Buah
  - 2. Tinggi turbin = 3 meter
  - 3. Diameter Turbin = 1 meter
  - 4. Panjang Chord Blade = 0.5 meter
  
- F. Tipe NACA Series 4 Digit 0018
  - 1. Jumlah Blade = 4 Buah
  - 2. Tinggi turbin = 3 meter
  - 3. Diameter Turbin = 1 meter
  - 4. Panjang Chord Blade = 0.392 meter

### 4.3. Simulasi CFD pada Turbin Gorlov

*Computational Fluid Dynamics* (CFD) adalah cabang dari mekanika fluida yang menggunakan metode numerik dan algoritma untuk memecahkan dan menganalisis masalah yang melibatkan dari aliran fluida tersebut. Pada analisis ini komputer digunakan untuk melakukan perhitungan yang diperlukan untuk mensimulasikan interaksi cairan dan gas dengan permukaan yang didefinisikan oleh kondisi batas, dengan kecepatan tinggi superkomputer, agar hasil analisis



yang lebih baik dapat dicapai. Code CFD terstruktur atas logaritma numeric, sehingga dapat digunakan untuk menyelesaikan problem pada suatu aliran fluida.

Simulasi CFD pada turbin gorlov digunakan untuk mengetahui besarnya gaya putar pada turbin yang diakibatkan arus laut dengan kecepatan tertentu yang mengenai turbin, sehingga nantinya dari besarnya gaya pada turbin dapat digunakan untuk mendapatkan besarnya torsi yang dihasilkan oleh turbin. Setelah mendapatkan torsi pada turbin maka didapatkan daya listrik yang bias dihasilkan oleh turbin.

Pengerjaan simulasi turbin gorlov memerlukan beberapa tahapan pengerjaan sesuai dengan table 4.1. Proses Tahapan Simulasi

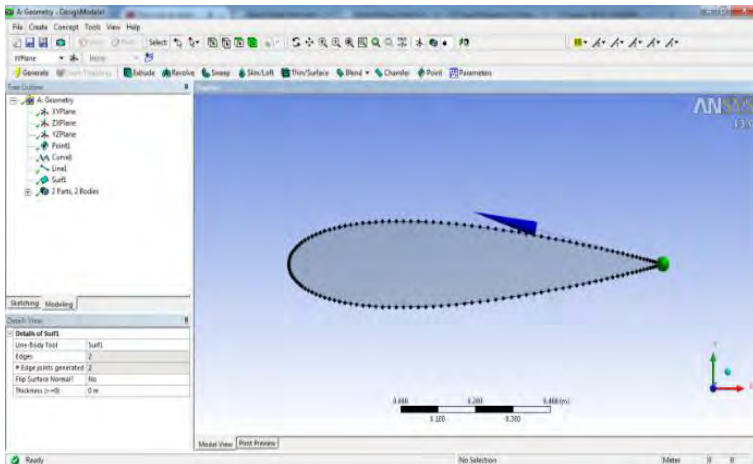
Tabel 4.1 Proses Tahapan Simulasi

No	Proses Pengerjaan	Software
1	Pembuatan Geometri Airfoil NACA 0018	ANSYS 13
2	Penggambaran 3 Dimensi Turbin Gorov	ANSYS 13
3	Simulasi Pre-Processor dan Solver	ANSYS 13
4	Post Processor	ANSYS 13

#### 4.3.1 Permodelan Geometri Airfoil NACA 0018

Permodelan Geometri dari Airfoil turbin di buat dengan menggunakan software ANSYS 13. Untuk mencari koordinat dari geometri Airfoil Naca 0018 maka menggunakan persamaan dari standart penggambaran NACA empat digit 0018. Setelah mengetahui koordinat-koordinat dari geometri Airfoil. Maka dimasukkan data koordinat tersebut kedalam software ANSYS 13 sehingga geometri Airfoil turbin dengan Naca empat digit 0018

dapat dilihat pada Gambar 4.2 Pembuatan Naca 0018 Software ANSYS 13

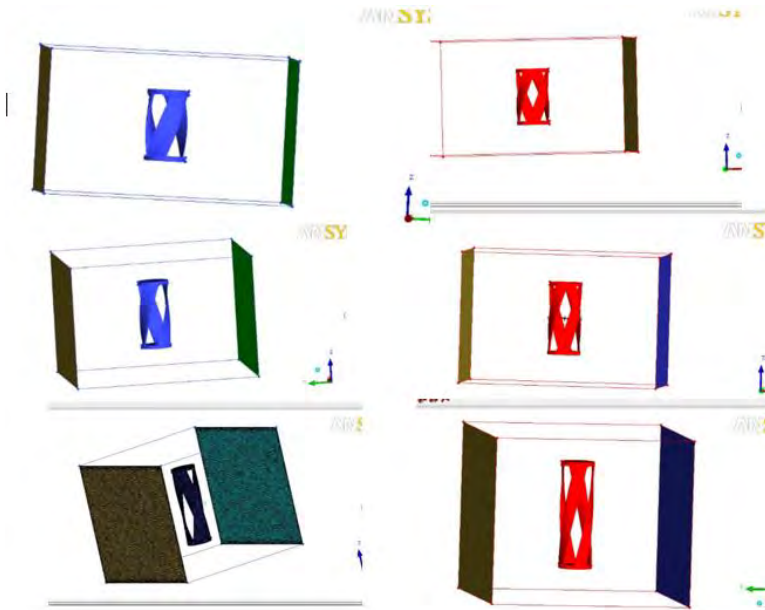


Gambar 4.2. Pembuatan NACA 0018 Software ANSYS 13

### 4.3.2 Permodelan 3 Dimensi dengan Software ANSYS ICEM CFD 13

Pemodelan 3 dimensi dari turbin gorlov digambar pada software ANSYS. Setelah permodelan Geometri dari Airfoil turbin, maka langkah selanjutnya penggambaran 3 Dimensi dengan koordinat Naca yang telah didapat.

Dalam pembuatan model blade disesuaikan dengan variasi kecepatan arus laut di Banyuwangi searah dengan sumbu x positif. Pada permodelan Blade turbin berdasarkan ukuran panjang chord, diameter turbin, tinggi turbin, type Naca, sehingga model berbentuk seperti pada Gambar 4.3 Pembuatan model Blade pada Software ICEM CFD 13. Pembuatan model dilakukan dengan solidity 0,5.



Gambar 4.3. Pembuatan model Blade 3 dan 4 ddengan variasi ketinggian 1,5 , 2 , 3 m pada software ICEM CFD 13

#### 4.4. Simulasi

Pada tahapan simulasi pada software ANSYS terdapat tahapan-tahapan dalam pengolahan data terdiri dari tiga elemen utama seperti gambar 4.4. Tahapan simulasi :

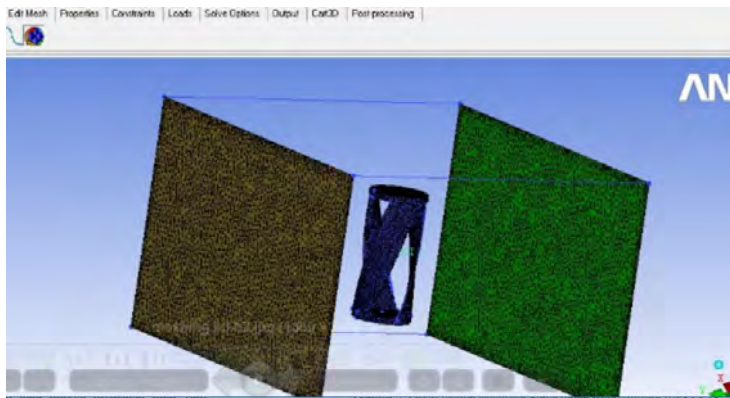


Gambar 4.4 Tahapan simulasi CFD

##### a. *Pre-Processor*

*Preprocessor* adalah tahap dimana data diinput mulai dari pendefinisian domain serta pendefinisian

kondisi batas atau boundary condition. Ditahap ini juga sebuah benda atau ruangan yang akan dianalisis dibagi-bagi dengan jumlah grid tertentu atau sering juga disebut dengan meshing. Meshing digunakan untuk akurasi modeling dengan hasil perhitungan. Nantinya solver akan memperhalus seperti pada bagian ujung-ujung, atau sudut. Untuk ukuran meshing digunakan ukuran yang terkecil supaya nantinya model semakin seragam dan pola separasi pada turbin semakin seragam.



Gambar 4.3 Meshing turbin Gorlov pada Software ANSYS 13

➤ Boundary Condition (Kondisi batas)

Boundary Condition (Kondisi batas) digunakan untuk mengetahui karakteristik benda dan fluida agar bisa sesuai / mendekati dengan kondisi yang sebenarnya. Pada simulasi ini turbin yang telah di meshing diletakkan didalam domain yang dijadikan sebagai pembatas aliran fluida. Kondisi batas dibagi menjadi 3 antara lain Inlet, Outlet, dan wall.

- Inlet

Inlet merupakan saluran masuknya fluida. Pada simulasi digunakan sudu blade  $15^\circ$  berdasarkan diagram coefisien lift

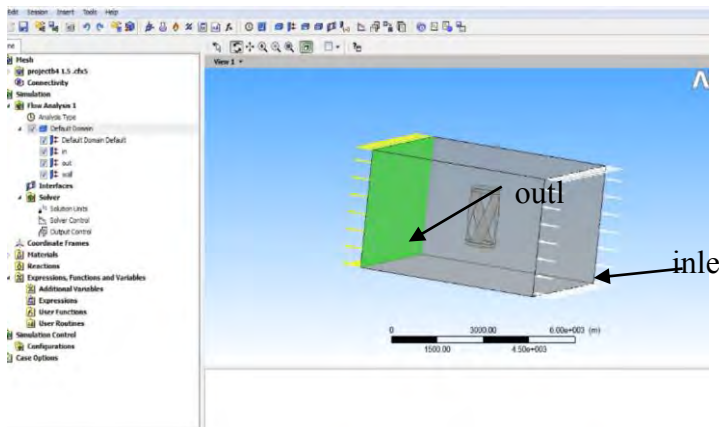
Maksimum sudut Naca Airfoil 0018. Untuk input kecepatan fluida diisi dengan kecepatan arus laut 0.01-0.29 m/s

- **Outlet**

Outlet merupakan saluran keluarnya fluida. Pada bagian outlet parameter yang dipakai adalah tekanan statis rata-rata sebesar 1 atm.

- **Wall**

Wall merupakan domain yang digunakan untuk membatasi aliran fluida pada turbin pada saat dilakukan simulasi. Sedangkan model foil juga didefinisikan sebagai wall dengan parameter no slip yang berarti terdapat gesekan apabila dilewati fluida kerja

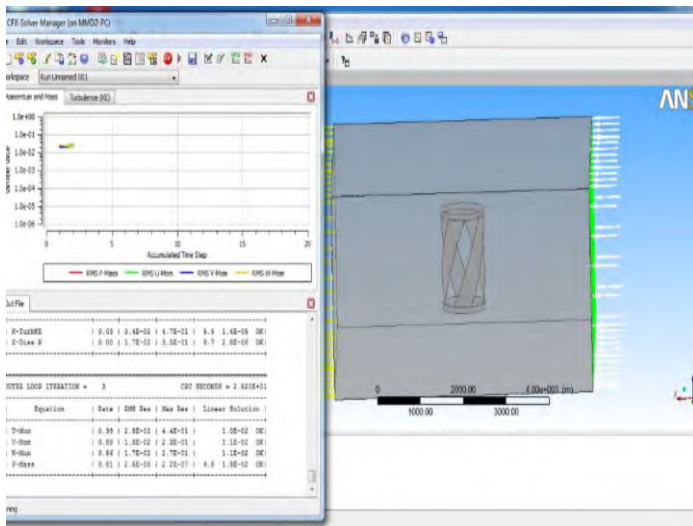


Gambar 4.4 Penentuan Boundary Condition

### b. *Solver*

Tahap selanjutnya adalah Solver, pada tahap ini dilakukan proses penghitungan data-data input dengan persamaan yang terlibat secara iteratif. Artinya penghitungan dilakukan hingga hasil menuju error terkecil atau hingga mencapai nilai yang konvergen.

Penghitungan dilakukan secara menyeluruh terhadap volume kontrol dengan proses integrasi persamaan diskrit. Pada tahapan ini parameter yang digunakan untuk maksimal iterasi sebesar 100 dan timescale Control yaitu Automatic time Scale. Semakin besar nilai iterasi maka hasil yang akan diperoleh saat simulasi semakin akurat.

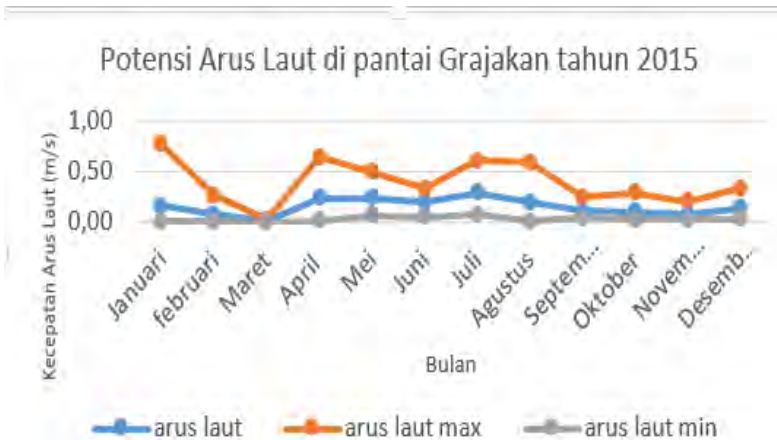


Gambar 4.5 Proses Solver pada software ANSYS 13

### c. *Post-Processor*

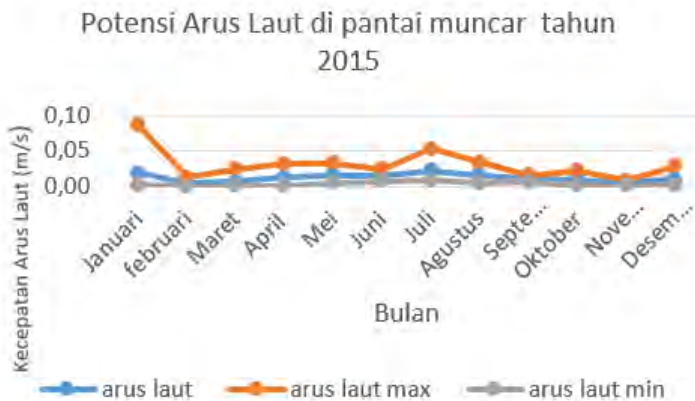
Tahap akhir merupakan tahap post processor di mana hasil perhitungan diinterpretasikan ke dalam gambar, grafik bahkan animasi dengan pola warna tertentu. Untuk memvalidasi data digunakan function calculator yang dari data tersebut dapat dianalisa berapa besarnya gaya yang diterima oleh blade di setiap bagian turbin. Pada gambar 4.5 Hasil function calculator force turbin pada software ANSYS 13

Arus laut sangat mempengaruhi kerja turbin. Pemilihan lokasi dilakukan untuk mendapatkan data potensi arus laut yang terbesar. Di banyuwangi kondisi arus laut dipengaruhi oleh Semakin besar potensi arus laut semakin besar juga daya listrik yang dihasilkan oleh kondisi pasang surut yang memiliki rentang kecepatan Arus berkisar  $0,1 - 0,8$  m/s. Untuk mengetahui potensi arus laut yang terdapat di banyuwangi dapat dilihat pada Grafik 4.1 merupakan hasil pengolahan data dari BMKG II Surabaya untuk arus laut di pantai Grajakan pada tahun 2015. Dan untuk potensi arus laut di pantai Muncar dapat di lihat pada Grafik 4.2 Potensi arus laut di pantai Muncar.



Grafik 4.1 Potensi arus laut di pantai Grajakan tahun 2015

Pada Grafik 4.1 terlihat bahwa potensi arus laut terbesar terjadi pada bulan Juli dengan rata-rata kecepatan arus laut 0,29 m/s dan untuk potensi terendah arus laut terdapat pada bulan maret dengan rata-rata arus 0,01 m/s



Grafik 4.2 Potensi arus laut di pantai Muncar tahun 2015

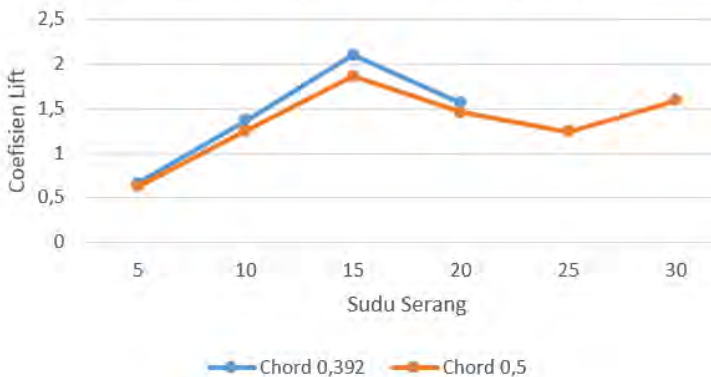


Pada grafik 4.2 dapat terlihat bahwa Potensi Arus laut terbesar terdapat pada bulan Juli dengan rata-rata kecepatan arus laut 0,023 m/s dan untuk potensi terendah arus laut terdapat pada bulan maret dengan rata-rata arus 0,004 m/s

#### 4.6 Analisa Coefisien lift terhadap sudu Serang

Naca mempengaruhi dari karakteristik system kerja turbin. Pemilihan dari Naca akan mempengaruhi geometri dari blade yang di didesain. Sehingga nantinya mempengaruhi kinerja sudu dari turbin. Pada kecepatan aliran fluida yang melewati turbin mempunyai koefisien lift yang naik pada kondisi reynold tertentu.

Coefisien Lift terhadap Sudu Serang

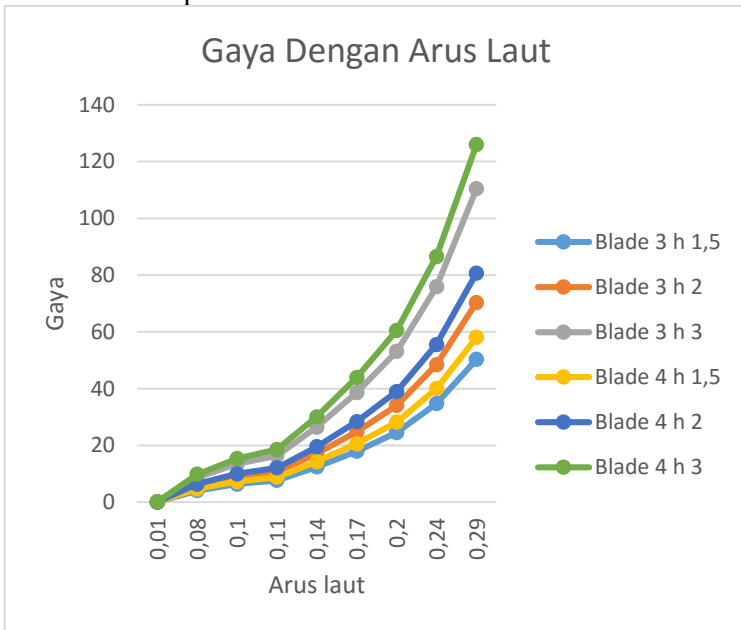


Grafik 4.3 Coefisien Lift Terhadap Sudu Serang

Pada grafik 4.3 dapat terlihat perbandingan Coefisien Lift (Cl) terhadap Sudu Serang, dimana semakin besar sudu serang maka nilai dari coefisien lift semakin besar hingga maksimal pada sudut 15°. Akan tetapi sudu serang yang terlalu besar akan menyebabkan aliran terpisah dari permukaan foil dan mengakibatkan gaya dorong akan berkurang.

#### 4.7 Analisa Hasil Simulasi

Pada tahapan ini, data yang diperoleh dari hasil simulasi digunakan untuk menghitung besarnya torsi dan daya listrik yang dihasilkan oleh turbin yang dirancang. Berikut data gaya yang diperoleh dari proses hasil simulasi berdasarkan variasi kecepatan arus 0.01-0.29 m/s.



Grafik 4.4 Gaya Hidrodinamik yang diperoleh dari simulasi

Pada grafik 4.4 merupakan hasil simulasi ANSYS yang menghasilkan nilai output berupa gaya yang bekerja pada blade turbin. Pada grafik diatas dapat terlihat perbandingan Gaya Hidrodinamik berbanding lurus terhadap besarnya kecepatan fluida yang masuk ke turbin, Sehingga semakin besar Kecepatan arus maka nilai dari Gaya Hidrodinamik semakin besar hingga maksimal 125.962 N.

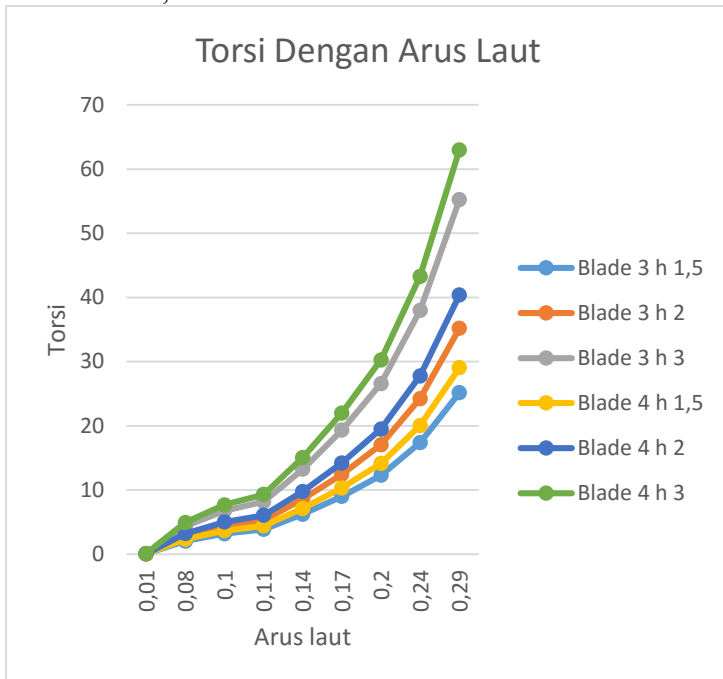
#### 4.8 Perhitungan Torsi pada Turbin

Dengan mendapatkan Gaya hidrodinamik maka dapat diperoleh perhitungan torsi sesuai persamaan berikut :

$$T = F \times r$$

$$T = 120,25 \times 0.5$$

$$T = 60,12 \text{ Nm}$$



Grafik 4.5 Torsi pada Turbin

Pada grafik 4.5 dapat terlihat perbandingan Kecepatan arus berbanding lurus terhadap besarnya torsi yang dihasilkan turbin, Sehingga semakin besar Kecepatan arus maka nilai dari Torsi yang dihasilkan semakin besar yang paling besar pada kecepatan arus 0.29 m/s yakni 62,981 Nm.

#### 4.9 Perhitungan Daya

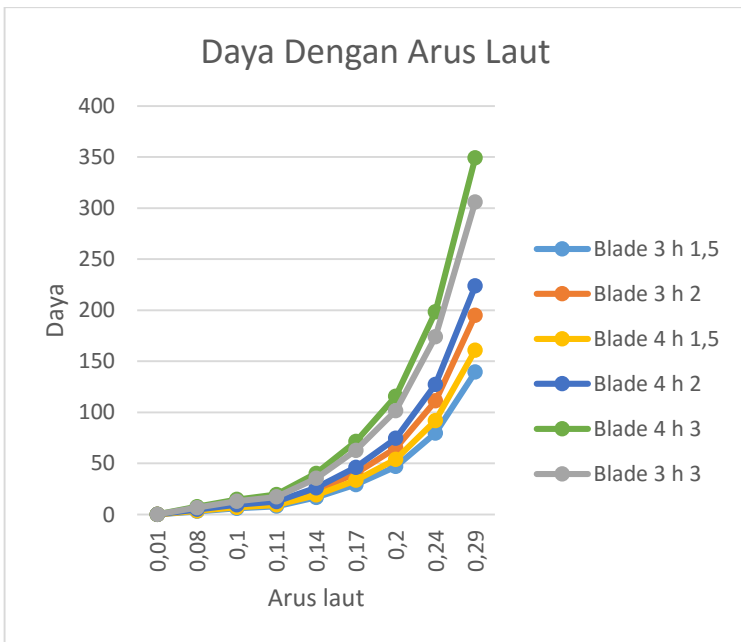
Daya Listrik dihitung dari nilai torsi yang telah diperoleh dengan persamaan sebagai berikut :

$$(P) = T \times \text{RPM}$$

$$(P) = T \times \frac{\Omega \times 60}{2\pi}$$

$$(P) = T \times \frac{v \times 60}{r 2\pi}$$

$$(P) = 60,12 \times \frac{0,1 \times 60}{0,5 \times 2 \times 3,14} = 333 \text{ Watt}$$



Grafik 4.6 Daya yang dihasilkan turbin

Pada grafik 4.6 dapat terlihat perbandingan Kecepatan arus berbanding lurus terhadap besarnya torsi yang dihasilkan turbin, Sehingga semakin besar Kecepatan arus maka nilai

dari Torsi yang dihasilkan semakin besar yang paling besar pada kecepatan arus 0.29 m/s yakni 349 Watt.

#### 4.10 Validasi Simulasi

Validasi adalah membandingkan gaya yang di dapatkan dengan menggunakan software ANSYS dengan perhitungan matematis. Untuk membuktikan bahwa hasil simulasi masih memenuhi maka perlu dilakukan validasi data dengan cara menghitung secara teori.

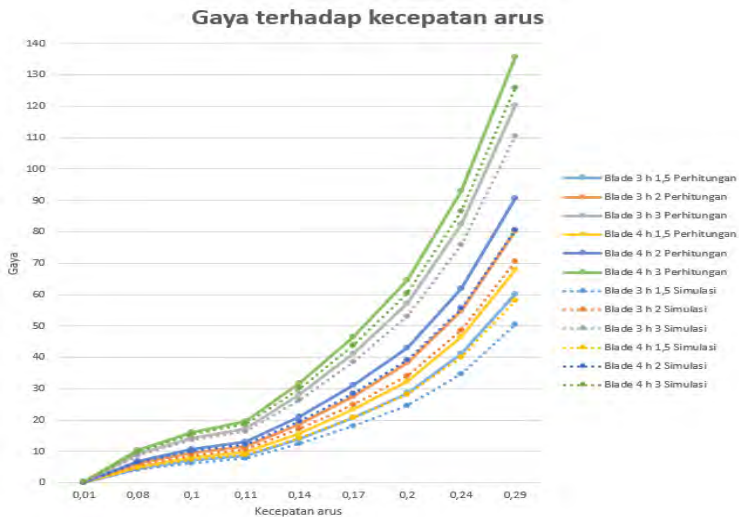
##### 4.10.1 Validasi Gaya Hidrodinamik

Pada tahapan ini akan dibandingkan gaya hidrodinamik hasil dari simulasi dengan gaya hidrodinamik hasil perhitungan matematis

$$F = 0.5 \times \rho \times v^2 \times c \times h \times Cl$$

$$F = 0.5 \times 1025 \times 0.1^2 \times 0.5 \times 3 \times 1.86$$

$$F = 120,25 \text{ N}$$



Grafik 4.7 Gaya Hidrodinamik berdasarkan perhitungan teori

Pada grafik 4.7 dapat terlihat bahwa gaya simulasi (F Ansys) dengan gaya berdasarkan perhitungan yang dihasilkan blade pada tiap kecepatan arus laut. Semakin besar kecepatan arus laut maka semakin besar juga gaya yang diterima oleh blade turbin.

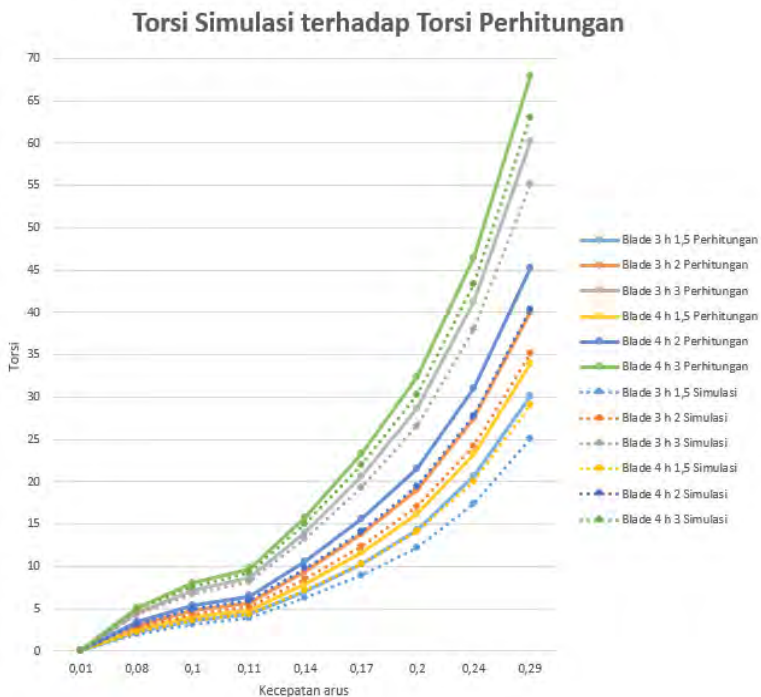
#### 4.9.2 Validasi Torsi

Pada tahapan ini akan dibandingkan Torsi hasil dari simulasi dengan torsi hasil perhitungan matematis

$$T = F \times r$$

$$T = 120,25 \times 0.5$$

$$T = 60,126 \text{ Nm}$$



Grafik 4.8 Torsi pada turbin

Pada grafik 4.8 dapat terlihat bahwa hasil torsi yang dihasilkan berdasarkan simulasi dan perhitungan teoritis sama sama menunjukkan peningkatan ketika kecepatan arus laut semakin meningkat, hal ini dikarenakan dalam mencari besarnya nilai torsi yang dihasilkan menggunakan persamaan  $T = F \times r$  sehingga nilai torsi berbanding lurus dengan gaya karena jari-jari turbin sama nilainya.

#### 4.10.3 Validasi Daya

Pada tahapan ini akan dibandingkan Daya hasil dari simulasi dengan daya hasil perhitungan matematis sehingga perhitungan daya yang dihasilkan menggunakan rumusan sebagai berikut :

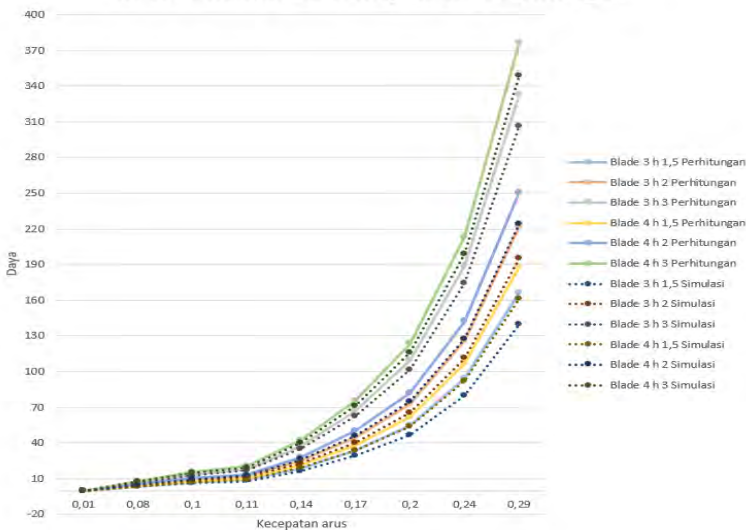
$$(P) = T \times \text{RPM}$$

$$(P) = T \times \frac{\Omega \times 60}{2\pi}$$

$$(P) = T \times \frac{v \times 60}{r 2\pi}$$

$$(P) = 3,574 \times \frac{0.1 \times 60}{0.5 \times 2 \times 3.14} = 67.34711 \text{ Watt}$$

**DAYA Simulasi terhadap DAYA Perhitungan**



Grafik 4.9 Daya yang dihasilkan turbin

Pada grafik 4.9 dapat terlihat bahwa semakin besar kecepatan arus maka daya yang dihasilkan juga semakin besar, hal ini dapat dijelaskan jika ketika arus yang melewati turbin semakin cepat maka semakin besar juga putaran rotor turbin sehingga semakin besar juga daya yang dihasilkan.

#### 4.11 Prosentase Error

Prosentase error digunakan untuk membandingkan gaya yang berkerja saat simulasi dengan gaya yang dihasilkan dengan perhitungan matematis sehingga diketahui prosentase error yang terjadi sebagai berikut :



Grafik 4.10 Prosentase Error Hasil Simulasi

Pada grafik 4.10 dapat terlihat bahwa semakin besar kecepatan arus laut maka semakin besar juga tingkat prosentase error. Hal ini dikarenakan simulasi pada software



masih ada tingkat kesalahan penyebabnya dikarenakan nilai meshing yang kurang tinggi.

#### 4.11 Daya Generator

Untuk perhitungan daya keluaran dari generator, maka harus mengetahui besaran losses pada instalasi generator. Untuk total losses pada instalasi generator dapat dilihat pada table 4.2 Total *Losses*

Tabel 4.2 Total *Losses*

##### LOSSES IN THE GEAR AT RATED LOAD

Friction, windage, and oil churning losses	1.0 % incl. turbine bearing
Gear mesh losses	1.7 %
Total losses at rated load	2.7 %

##### LOSSES IN THE FREQUENCY CONVERTER AT RATED LOAD

Voltage drop losses of the diode rectifier	0.4 %
Resistive losses of rectifier and inductor	0.2 %
Step up converter transistor losses (at rated current through the transistor)	0.75 %
Step up converter diode losses (at rated current through the diode)	0.25 %
No load converter losses	0.1 %
Inverter load losses at $\cos(\phi) = 1$	1.5 %
Inverter and inductor resistive losses	0.3 %
Total losses at rated generator voltage	2.75 %

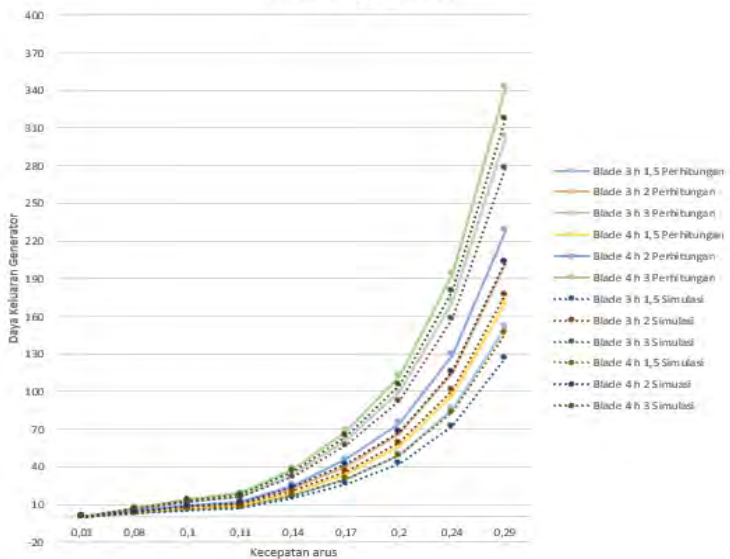
Induction generator (grid connected)	
Core losses	1.5 %
Copper losses, and Additional losses	1.5 % stator & rotor
Friction, windage, and cooling losses	0.5 %
Excitation losses	—
Total losses	3.5 %

Total Losses =  $2,7 \% + 2,75 \% + 3,5\% = 8,95\%$

Effisiensi P generator =  $100\% - 8,95\% = 91,05\%$

Daya Generator =  $P \text{ turbin} \times 91,05\%$

**DAYA Simulasi terhadap DAYA Perhitungan setelah  
dikurangi Losses**



**Grafik 4.11 Prosentase Error Hasil Simulasi**

Pada grafik 4.11 dapat terlihat bahwa semakin besar kecepatan arus laut maka semakin besar juga daya yang dihasilkan. Efisiensi daya pada generator tertinggi 317,77 watt.

# Lampiran 1

## Tabel Data arus laut di pantai Grajakan

tgl	Bulan											
	Januari	februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
1	9.1	8.6	0.6	22.1	14.5	15.8	20.3	8.8	5.9	14.3	9.3	4
2	11.7	7.6	0.7	9.4	11.5	19.6	23.9	17.3	6.1	11.9	21	4.3
3	5.9	1.6	0.3	8.1	23.5	23.8	32.8	25.3	4.4	16.5	11.8	3.5
4	12.2	2.5	0.4	12.9	50	18.5	42.1	32.5	6.2	6.7	3.9	6.9
5	20	0.7	0.3	8.6	36.3	23.6	41.5	25.8	7.7	9.2	4.3	32.7
6	51.4	0.9	0.5	19.5	33.8	32.1	23.3	16.8	9.6	12.1	4.4	33.5
7	69.6	10.1	0.3	21	37.8	29.7	17.4	22	11.4	11.4	8.9	19.7
8	77.2	9.7	0.3	14.2	43.5	23.1	20.6	33	13.5	12.5	9.2	12.7
9	62.5	7.9	0.9	4.7	46.2	27.8	32.1	50.9	5.8	10.5	4.3	14.1
10	38.7	3.6	2.5	2.1	41.8	22.8	54.9	59.4	9.9	7.9	5.2	16.3
11	9	9	1.4	3.1	23.6	16.6	56.6	32.6	2.4	6.3	7.5	9
12	7.4	12.8	1	3.1	32.5	9	39.4	24.7	25.1	3.1	8.5	10.6
13	4.9	10.3	0.9	2.5	32.5	9	39.4	24.7	25.1	3.1	8.5	10.6
14	9.5	27	0.2	9.5	46.5	8.2	53.7	12.2	14.5	5.5	5.3	5.4
15	3	16.8	0.2	14.2	38.9	7	42.9	18.1	9.3	9.2	4.7	4
16	5.3	11.3	0.2	8.1	12.3	7.4	34.3	20	10.9	17.5	8.2	3.6
17	8.4	4.1	0.2	12.8	8.5	5.5	30.1	16	13.5	16.3	15.8	12.6
18	12.5	7.1	0.1	25.8	8.1	6	32.2	9.4	11.4	29.7	16.7	16
19	19.2	9.8	0.3	49.9	15	10.7	18.7	9.5	11.6	28.6	18.6	8.8
20	17.6	12.2	0.3	56.6	14.7	10.8	10.4	8.2	11.9	23.4	15	9.3
21	2.6	10.1	1.2	43.5	14.6	20.1	7.9	19.6	10.9	10.3	6.2	6.5
22	12.9	12.1	1.3	28.1	8.9	24.5	8.5	28	14.8	7	4.4	11
23	19.5	3.8	0.6	35	16.7	21.3	12.9	25.3	13.3	4.5	3.7	9
24	3.2	2.5	0.7	34.1	18	3.4	21.4	16.5	13.3	4.5	2.8	22.5
25	2.2	4	0.5	37.5	14.4	33	25.2	10.5	6.2	4.9	4.5	26.5
26	8.7	3.9	0.2	54.8	7.5	26.2	33.9	3.4	8.5	4.8	2.7	22.8
27	4.3	2.3	0.5	64.6	7.8	23.8	25.7	1.2	12.3	6.7	2.4	11.9
28	2	4	0.8	48.7	8.3	27.9	14.3	2.6	12.3	8	7	15.3
29	1.3		1	26.6	14.5	24.3	25	10.8	14.3	6.9	8.1	24.8
30	4.1		0.5	36.5	27.9	21.1	24.6	7.5	11	4.9	6.2	24.8
31	8.4		1.3		27.9		11.6	6.6	0.11	3.1		24.8
rata-rata	0.17	0.08	0.01	0.24	0.24	0.20	0.29	0.20	0.11	0.10	0.08	0.14
nilai max	0.772	0.27	0.025	0.646	0.5	0.34	0.615	0.594	0.251	0.297	0.21	0.335
nilai min	0.013	0.007	0.001	0.021	0.075	0.055	0.079	0.012	0.044	0.031	0.024	0.035

## Lampiran 2

### Tabel Data arus laut di pantai Muncar

tgl	Bulan											
	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
1	1,5	0,5	0,6	1,7	0,6	1,1	1,3	1,1	0,8	1,6	0,4	0,3
2	2,7	0,4	0,7	1	0,5	1,3	1,8	1,5	0,9	2	0,8	0,2
3	1,9	0,1	0,3	1,1	1	1,9	2,2	2,2	0,8	2,2	0,5	0,2
4	1,6	0,2	0,4	1,2	2,5	2,1	2	2,2	0,8	1,1	0,1	0,4
5	2,2	0,1	0,3	1,2	2,4	2,3	2,1	1,9	0,6	0,8	0,2	1,4
6	4,3	0	0,5	1,5	2	2,5	1,7	1,9	0,8	0,7	0,5	1,4
7	6,7	0,5	0,3	1,3	2,4	2,2	1,5	1,7	0,8	0,7	0,5	1
8	8,7	0,8	0,3	1,1	2,6	2,1	1,3	2,6	0,6	0,9	0,4	0,8
9	8,4	0,6	0,9	0,5	2,9	1,8	1,7	3,2	0,6	1,3	0,2	0,7
10	4,6	0,1	2,5	0,4	3,1	1,5	2,8	3,4	1,2	1,1	0,1	0,8
11	1,9	0,3	1,4	0,6	2,5	1,5	3,6	3,4	1,4	0,7	0,2	0,5
12	0,8	0,3	1	0,3	2	1,5	4,6	2,4	1,6	0,2	0,3	0,4
13	0,5	0,4	0,9	0,1	2,4	1	3,4	2,1	1,4	0,3	0,2	0,5
14	0,2	1,1	0,2	0,8	3,3	0,9	5,3	1,9	0,9	0,6	0,2	0,2
15	0,4	0,5	0,2	1,5	3	0,8	3,9	2,2	0,9	0,6	0,2	0,7
16	0,5	0,4	0,2	0,8	1,5	0,7	3,3	2,2	1,5	0,9	0,3	0,3
17	0,4	0,2	0,2	1	0,9	0,8	2,9	1,4	1,4	1	0,7	1,2
18	0,7	0,3	0,1	1,2	0,9	0,8	2,5	1,3	1	1,4	0,8	2,9
19	1,4	0,9	0,3	2,3	0,9	1,2	2,3	0,8	0,9	1,3	0,9	2,4
20	1,5	1,2	0,3	2,6	0,9	1,3	1,9	0,7	1	1,1	0,8	2,4
21	0,5	1,3	1,2	1,9	1,1	1,6	0,9	1	0,7	1,3	0,6	0,4
22	1,2	1,3	1,3	1	0,8	1,8	1,1	1,4	1,1	0,8	0,6	0,5
23	1,6	0,8	0,6	1,2	1,1	1,8	1,2	1,4	1,1	0,9	0,4	0,6
24	0,9	0,5	0,7	1,1	1,1	2,3	1,6	1	0,9	0,5	0,1	1,7
25	0,9	0,4	0,5	1,1	1,2	2,3	1,9	0,9	0,8	0,7	0,2	2,7
26	1,1	0,4	0,2	2,2	0,8	2,3	2,5	1	0,9	0,5	0,2	1,7
27	1,1	0,1	0,5	3,2	0,8	2,2	1,8	0,4	1,5	0,7	0,3	1,1
28	0,6	0,4	0,8	2,4	0,6	2	1,4	0,6	1,3	0,8	0,5	1,2
29	0,4		1	1,3	1,1	1,7	2,5	1,1	1,5	0,8	0,4	1,4
30	0,6		0,5	1,6	2	1,7	2	1	1,1	0,6	0,3	1,2
31	0,7		1,3		1,8		1,2	0,6		0,1		0,8
rate-rata	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01
max	0,087	0,013	0,025	0,032	0,033	0,025	0,053	0,034	0,016	0,022	0,009	0,029
min	0,002	0	0,001	0,001	0,005	0,007	0,009	0,004	0,006	0,001	0,001	0,002

### Lampiran 3

Tabel Data Koordinat Naca 0018 chord 0,5 m

Name	▼	NACA 0018			
Chord(mm)		523			
Radius(mm)		0			
Thickness(%)		100			
Origin(%)		0			
Pitch(deg)		0			
Airfoil surface					
X(mm)		Y(mm)	X(mm)	Y(mm)	
523.000.000		0	6.537.500	-14.858.430	
496.850.000		6.328.300	13.075.000	-20.512.060	
470.700.000		11.359.560	26.150.000	-27.886.360	
418.400.000		20.580.050	39.225.000	-32.949.000	
366.100.000		28.744.080	52.300.000	-36.735.520	
313.800.000		35.799.350	78.450.000	-41.934.140	
261.500.000		41.531.430	104.600.000	-45.009.380	
209.200.000		45.527.150	130.750.000	-46.609.760	
156.900.000		47.085.690	156.900.000	-47.085.690	
130.750.000		46.609.760	209.200.000	-45.527.150	
104.600.000		45.009.380	261.500.000	-41.531.430	
78.450.000		41.934.140	313.800.000	-35.799.350	
52.300.000		36.735.520	366.100.000	-28.744.080	
39.225.000		32.949.000	418.400.000	-20.580.050	
26.150.000		27.886.360	470.700.000	-11.359.560	
13.075.000		20.512.060	496.850.000	-6.328.300	
6.537.500		14.858.430	523.000.000	0	
0.000000		0.000000			

## Lampiran 4

Tabel Data Koordinat Naca 0018 chord 0,392 m

Name	NACA 0018		
Chord(mm)	392		
Radius(mm)	0		
Thickness(%)	100		
Origin(%)	0		
Pitch(deg)	0		
Airfoil surface			
X(mm)	Y(mm)	X(mm)	Y(mm)
392.000.000	0	4.900.000	-11.136.720
372.400.000	4.743.200	9.800.000	-15.374.240
352.800.000	8.514.240	19.600.000	-20.901.440
313.600.000	15.425.200	29.400.000	-24.696.000
274.400.000	21.544.320	39.200.000	-27.534.080
235.200.000	26.832.400	58.800.000	-31.430.560
196.000.000	31.128.720	78.400.000	-33.735.520
156.800.000	34.123.600	98.000.000	-34.935.040
117.600.000	35.291.760	117.600.000	-35.291.760
98.000.000	34.935.040	156.800.000	-34.123.600
78.400.000	33.735.520	196.000.000	-31.128.720
58.800.000	31.430.560	235.200.000	-26.832.400
39.200.000	27.534.080	274.400.000	-21.544.320
29.400.000	24.696.000	313.600.000	-15.425.200
19.600.000	20.901.440	352.800.000	-8.514.240
9.800.000	15.374.240	372.400.000	-4.743.200
4.900.000	11.136.720	392.000.000	0
0.000000	0.000000		

## Lampiran 5

Tabel hasil simulasi Blade 3

Turbin	w	F SIMULASI	Q (Fxr)	Rpm	P (QxRPM)
BLADE 3 H 1,5	0,01	0,064	0,032	0,19108	0,00611
BLADE 3 H 1,5	0,08	4,089	2,0445	1,52866	3,12535
BLADE 3 H 1,5	0,1	6,367	3,1835	1,91083	6,08312
BLADE 3 H 1,5	0,11	7,701	3,8505	2,10191	8,09341
BLADE 3 H 1,5	0,14	12,45	6,225	2,67516	16,6529
BLADE 3 H 1,5	0,17	17,96	8,98	3,24841	29,1707
BLADE 3 H 1,5	0,2	24,55	12,275	3,82166	46,9108
BLADE 3 H 1,5	0,24	34,74	17,37	4,58599	79,6586
BLADE 3 H 1,5	0,29	50,32	25,16	5,5414	139,422
BLADE 3 H 2	0,01	0,0873	0,04365	0,19108	0,00834
BLADE 3 H 2	0,08	5,584	2,792	1,52866	4,26803
BLADE 3 H 2	0,1	8,750125	4,37506	1,91083	8,35999
BLADE 3 H 2	0,11	10,584581	5,29229	2,10191	11,1239
BLADE 3 H 2	0,14	17,120925	8,56046	2,67516	22,9006
BLADE 3 H 2	0,17	24,847231	12,4236	3,24841	40,357
BLADE 3 H 2	0,2	34,0825	17,0413	3,82166	65,1258
BLADE 3 H 2	0,24	48,4668	24,2334	4,58599	111,134
BLADE 3 H 2	0,29	70,362081	35,181	5,5414	194,952
BLADE 3 H 3	0,01	0,1354938	0,06775	0,19108	0,01295
BLADE 3 H 3	0,08	8,6646	4,3323	1,52866	6,62262
BLADE 3 H 3	0,1	13,516375	6,75819	1,91083	12,9137
BLADE 3 H 3	0,11	16,351744	8,17587	2,10191	17,185
BLADE 3 H 3	0,14	26,462775	13,2314	2,67516	35,3961
BLADE 3 H 3	0,17	38,621694	19,3108	3,24841	62,7295
BLADE 3 H 3	0,2	53,1475	26,5738	3,82166	101,556
BLADE 3 H 3	0,24	75,9204	37,9602	4,58599	174,085
BLADE 3 H 3	0,29	110,44624	55,2231	5,5414	306,013



## Lampiran 6

Tabel hasil simulasi Blade 4

BLADE 4	w	F SIMULASI	Q (Fxr)	Rpm	P (QxRPM)
BLADE 4 H 1,5	0,01	0,073225	0,03661	0,19108	0,007
BLADE 4 H 1,5	0,08	4,6794	2,3397	1,52866	3,57661
BLADE 4 H 1,5	0,1	7,2895	3,64475	1,91083	6,96449
BLADE 4 H 1,5	0,11	8,817225	4,40861	2,10191	9,26651
BLADE 4 H 1,5	0,14	14,2581	7,12905	2,67516	19,0713
BLADE 4 H 1,5	0,17	20,626025	10,313	3,24841	33,5009
BLADE 4 H 1,5	0,2	28,24	14,12	3,82166	53,9618
BLADE 4 H 1,5	0,24	40,0536	20,0268	4,58599	91,8426
BLADE 4 H 1,5	0,29	58,078225	29,0391	5,5414	160,917
BLADE 4 H 2	0,01	0,1001313	0,05007	0,19108	0,00957
BLADE 4 H 2	0,08	6,4014	3,2007	1,52866	4,89279
BLADE 4 H 2	0,1	9,980125	4,99006	1,91083	9,53515
BLADE 4 H 2	0,11	12,072881	6,03644	2,10191	12,6881
BLADE 4 H 2	0,14	19,531725	9,76586	2,67516	26,1252
BLADE 4 H 2	0,17	28,401931	14,201	3,24841	46,1305
BLADE 4 H 2	0,2	39,0025	19,5013	3,82166	74,5271
BLADE 4 H 2	0,24	55,5516	27,7758	4,58599	127,379
BLADE 4 H 2	0,29	80,706381	40,3532	5,5414	223,613
BLADE 4 H 3	0,01	0,1539438	0,07697	0,19108	0,01471
BLADE 4 H 3	0,08	9,8454	4,9227	1,52866	7,52515
BLADE 4 H 3	0,1	15,361375	7,68069	1,91083	14,6765
BLADE 4 H 3	0,11	18,584194	9,2921	2,10191	19,5312
BLADE 4 H 3	0,14	30,078975	15,0395	2,67516	40,233
BLADE 4 H 3	0,17	43,953744	21,9769	3,24841	71,3898
BLADE 4 H 3	0,2	60,5275	30,2638	3,82166	115,658
BLADE 4 H 3	0,24	86,5476	43,2738	4,58599	198,453
BLADE 4 H 3	0,29	125,96269	62,9813	5,5414	349,005

## Lampiran 7

Tabel hasil perhitungan Teoritis Blade 3

BLADE 3	w	F HITUNG	Q (Fxr)	Rpm	P (QxRPM)
BLADE 3 H 1,5	0	0,07149	0,03575	0,19108	0,00683
BLADE 3 H 1,5	0,1	4,5756	2,2878	1,52866	3,49727
BLADE 3 H 1,5	0,1	7,14938	3,57469	1,91083	6,83061
BLADE 3 H 1,5	0,1	8,65074	4,32537	2,10191	9,09155
BLADE 3 H 1,5	0,1	14,0128	7,00639	2,67516	18,7432
BLADE 3 H 1,5	0,2	20,6617	10,3308	3,24841	33,5588
BLADE 3 H 1,5	0,2	28,5975	14,2988	3,82166	54,6449
BLADE 3 H 1,5	0,2	41,1804	20,5902	4,58599	94,4264
BLADE 3 H 1,5	0,3	60,1262	30,0631	5,5414	166,592
BLADE 3 H 2	0	0,09533	0,04766	0,19108	0,00911
BLADE 3 H 2	0,1	6,1008	3,0504	1,52866	4,66303
BLADE 3 H 2	0,1	9,5325	4,76625	1,91083	9,10748
BLADE 3 H 2	0,1	11,5343	5,76716	2,10191	12,1221
BLADE 3 H 2	0,1	18,6837	9,34185	2,67516	24,9909
BLADE 3 H 2	0,2	27,5489	13,7745	3,24841	44,7451
BLADE 3 H 2	0,2	38,13	19,065	3,82166	72,8599
BLADE 3 H 2	0,2	54,9072	27,4536	4,58599	125,902
BLADE 3 H 2	0,3	80,1683	40,0842	5,5414	222,122
BLADE 3 H 3	0	0,14299	0,07149	0,19108	0,01366
BLADE 3 H 3	0,1	9,1512	4,5756	1,52866	6,99455
BLADE 3 H 3	0,1	14,2988	7,14938	1,91083	13,6612
BLADE 3 H 3	0,1	17,3015	8,65074	2,10191	18,1831
BLADE 3 H 3	0,1	28,0256	14,0128	2,67516	37,4864
BLADE 3 H 3	0,2	41,3234	20,6617	3,24841	67,1176
BLADE 3 H 3	0,2	57,195	28,5975	3,82166	109,29
BLADE 3 H 3	0,2	82,3608	41,1804	4,58599	188,853
BLADE 3 H 3	0,3	120,252	60,1262	5,5414	333,184

## Lampiran 8

Tabel hasil perhitungan Teoritis Blade 4

BLADE 4	w	F HITUNG	Q (Fxr)	Rpm	P (QxRPM)
BLADE 4 H 1,5	0	0,08072	0,04036	0,19108	0,00771
BLADE 4 H 1,5	0,1	5,166	2,583	1,52866	3,94854
BLADE 4 H 1,5	0,1	8,07188	4,03594	1,91083	7,71198
BLADE 4 H 1,5	0,1	9,76697	4,88348	2,10191	10,2646
BLADE 4 H 1,5	0,1	15,8209	7,91044	2,67516	21,1617
BLADE 4 H 1,5	0,2	23,3277	11,6639	3,24841	37,889
BLADE 4 H 1,5	0,2	32,2875	16,1438	3,82166	61,6959
BLADE 4 H 1,5	0,2	46,494	23,247	4,58599	106,61
BLADE 4 H 1,5	0,3	67,8845	33,9422	5,5414	188,088
BLADE 4 H 2	0	0,10763	0,05381	0,19108	0,01028
BLADE 4 H 2	0,1	6,888	3,444	1,52866	5,26471
BLADE 4 H 2	0,1	10,7625	5,38125	1,91083	10,2826
BLADE 4 H 2	0,1	13,0226	6,51131	2,10191	13,6862
BLADE 4 H 2	0,1	21,0945	10,5473	2,67516	28,2156
BLADE 4 H 2	0,2	31,1036	15,5518	3,24841	50,5186
BLADE 4 H 2	0,2	43,05	21,525	3,82166	82,2611
BLADE 4 H 2	0,2	61,992	30,996	4,58599	142,147
BLADE 4 H 2	0,3	90,5126	45,2563	5,5414	250,783
BLADE 4 H 3	0	0,16144	0,08072	0,19108	0,01542
BLADE 4 H 3	0,1	10,332	5,166	1,52866	7,89707
BLADE 4 H 3	0,1	16,1438	8,07188	1,91083	15,424
BLADE 4 H 3	0,1	19,5339	9,76697	2,10191	20,5293
BLADE 4 H 3	0,1	31,6418	15,8209	2,67516	42,3234
BLADE 4 H 3	0,2	46,6554	23,3277	3,24841	75,7779
BLADE 4 H 3	0,2	64,575	32,2875	3,82166	123,392
BLADE 4 H 3	0,2	92,988	46,494	4,58599	213,221
BLADE 4 H 3	0,3	135,769	67,8845	5,5414	376,175

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **1.1 Kesimpulan**

Setelah dilakukan simulasi dan perhitungan secara teoritis pada Turbin Arus Gorlov maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan kondisi arus pasang surut yang memiliki kecepatan arus berkisar 0,1 sampai 0,7 laut di banyuwangi maka turbin tipe vetikal gorlov cocok diaplikasikan di banyuwangi
2. Sudut serang  $15^0$  akan memberikan gaya dorong optimal sebesar 125,96 N
3. Berdasarkan hasil simulasi dan perhitungan teoritis memiliki kesamaan karakteristik *blade* digerakkan rotor dengan jumlah blade 4 dan tinggi 3 m menghasilkan energy listrik sebesar 349 watt
4. Dengan bertambah ketinggian dari turbin 3m akan mengakibatkan torsi dan daya listrik sebesar 62,98 Nm dan 349 watt.
5. Kecepatan Arus laut yang besar 0,29 m/s akan menghasilkan daya listrik yang besar sebesar 349 watt. Sebaliknya dengan kecepatan arus laut yang rendah 0,01 m/s maka daya listrik yang dihasilkan juga rendah 0,015 watt.

#### **1.2 Saran**

Tidak ada sesuatu yang sempurna termasuk hasil dari penelitian ini. Namun demi tercapainya hasil yang lebih baik pada penelitian-penelitian berikutnya, berikut saran-saran untuk penelitian berikutnya:

1. Perlu dilakukan simulasi dengan jumlah blade yang lebih besar sehingga diperoleh jumlah blade optimal sesuai dengan radius rotor

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Achirudhin .D, 2011. Ocean energy, Universitas darma Persada
- [2] Djojonegoro,W., 1992, Pengembangan dan penerapan energi baru dan terbarukan, Lokakarya "Bio Mature Unit" (BMU) untuk pengembangan masyarakat pedesaan, BPPT, Jakarta.
- [3] Gorlov, 2001. *Limits of the Turbine Efficiency for Free Fluid Flow*. Institute of Computational Modeling, Krasnoyarsk, Russia.
- [4] Hanifah, Umi dkk, 2011Rancang bangun turbin heliks aliran datar tipe LC500. Balai besar pengembangan teknologi tepat guna LIPI, subang
- [5] Hincley ,Dr Michael.*Design, Fabrication and Testing of a Water Current Energy Device*. (n.d.). Memorial University of Newfoundland.
- [6] Mahammad, hamid. 2005.Jakarta: Ilmu Pengetahuan Sosial-Geografi Direktorat Pendidikan Lanjutan Pertama, Direktorat Jenderal Pendidikan Dasar dan Menengah. Departemen Pendidikan Nasional.
- [7] <https://bemamikintelcom.files.wordpress.com/2010/07/turbin-komplit.jpg>
- [8] <https://crizkydwi.wordpress.com/2014/11/05/motor-dc-dan-generator-dc/>
- [9] <http://www.emec.org.uk/marine-energy/tidal-devices/>
- [10] <http://www.esdm.go.id/berita/artikel/56-artikel/4072-road-map-penelitian-dan-pengembangan-energi-arus-laut.html>
- [11] [web.stanford.edu/.../The%20NACA%20airfoil%20series.pdf](http://web.stanford.edu/.../The%20NACA%20airfoil%20series.pdf)

- [12] <https://trainingrobot.wordpress.com/2014/07/09/pendant-torsi-torque/>
- [13] *wright.nasa.gov*

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Banyuwangi, Jawa Timur, pada tanggal 19 Januari 1994. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Terlahir dengan nama Ricardo Martin Lopulalan dari pasangan Jacob Lopulalan Spd dan Susasrifin. Riwayat pendidikan formal yang telah ditempuh adalah TK Pertiwi Purwoharjo,

SDN 1 Purwoharjo, SMPN 1 Cluring, SMAN 1 Purwoharjo. Setelah lulus dari SMA tahun 2012, penulis melanjutkan ke jenjang perguruan tinggi. Diterima di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan – Fakultas Teknologi Kelautan – Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya jenjang Strata I (S1). Penulis mengambil konsentrasi bidang keahlian Marine Electrical and Automation System (MEAS). Selama perkuliahan, penulis aktif pada kegiatan yang sifatnya akademis dan non akademis. Penulis aktif di organisasi PMK (Persekutuan Mahasiswa Kristen di ITS) sebagai Sie Acara pada kegiatan Natal dan Paskah periode 2013-2014 dan Ketua pelaksana (OC) kegiatan Natal dan Paskah periode 2014-2015, Panitia Seminar PLC Laboratorium MEAS 2015 dan SC kegiatan Natal dan Paskah periode 2015-2016. Penulis pernah melaksanakan kerja praktek di PT Janata Marina Indah (JMI) Semarang dan PT Citra Tubindo Engineering Batam.

### **Ricardo Martin Lopulalan**

Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK ITS

Ricardo.martin.lopulalan12@mhs.ne.its.ac.id